

Rami Steinberg

OPTISEN TIETOVERKON SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN  
ASIAKASKIINTEISTÖÖN

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma  
2018

# OPTISEN TIETOVERKON SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN ASIAKASKIINTEISTÖÖN

Steinberg, Rami  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma  
Syyskuu 2018  
Ohjaaja: Grönholm, Jukka  
Sivumäärä: 48  
Liitteitä: 0

Asiasanat: optinen tiedonsiirto, valokuitu, valokaapeli, liityntäverkko, sisäverkko

---

Verkkoyhteysille asetetut vaatimukset kasvavat jatkuvasti, mikä on myös nopeuttanut optisen valokuituverkon rakentamista. Vanhojen kuparikaapelointien ominaisuudet eivät enää riitä vastaamaan nykyajan tarpeita, kun entistä useampi kodin laite on kytkettynä verkkoon. Valokuidun rakentamista on vauhdittanut myös kaapelointikustannuksien pieneneminen.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä optisen tiedonsiirron ominaisuuksiin ja valokuituverkon fyysisiin toteutusmenetelmiin kiinteiden valokuituyhteyksien tilaajille teleoperaattoreiden näkökulmasta. Työssä tuodaan esille valokuitukaapeloinnin kannattavuutta ja ominaisuuksia perinteiseen kuparikaapelointiin verrattuna. Lisäksi työssä käydään läpi vaatimukset optisen tietoverkon toteuttamiseksi sekä suunnitelman merkitys valokuitukaapeloinnin elinkaaren kasvattamiseksi.

Työn tuloksena syntyi informatiivinen ja ajankohtainen tuotos optisen kuituverkon rakentamisen vaiheista teleoperaattorin runkoverkosta kohti asiakkaan kiinteistöä. Työssä myös kerrotaan verkon rakentamisen jälkeen asiakkaan vastuulle kuuluvista asioista ja tarvittavista toimenpiteistä.

# OPTICAL NETWORK PLANNING AND CONSTRUCTION TO CUSTOMER'S BUILDING

Steinberg, Rami

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Business Information Technology

Month 2018

Supervisor: Grönholm, Jukka

Number of pages: 48

Appendices: 0

Keywords: optical data transfer, optical fibre, fibre cable, access network, internal network

---

Requirements for internet connection's quality are growing continuously, which has also sped up construction of optical fibre network. Copper cabling's features does not fill today's needs anymore, because there are even more devices connected to the network. Reduced expenses of the fibre cabling has also sped up construction of the fibre network.

The purpose of this thesis was to become familiar with features of optical data transfer and physical execution methods of the fibre network for fixed network's subscribers from operator's aspect. This work introduces fibre cabling's profitability and features compared to the traditional copper cabling. The work brings up also requirements for the execution of the optical network and meaning of planning to raise life cycle of the fibre cabling.

As a result of the work is current and informative output regarding phases of the optical network's construction from operator's core network to the customer's building. The work also introduces customer's responsibilities after the construction has been completed.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	OPTISEN TIEDONSIIRRON TAUSTA.....	7
3	TIEDONSIIRRON TOIMINTAPERIAATE.....	8
3.1	Vaimennus .....	9
3.2	Optisen tiedonsiirron ominaisuuksia.....	9
3.3	Kuitutyypit .....	11
4	TELEVERKKO.....	13
4.1	FTTX.....	13
4.2	Looginen topologia .....	14
4.3	Fyysinen topologia.....	15
4.4	Siirtotekniikoiden kehitys viestintäverkoissa .....	16
4.5	Mobiiliverkot liityntäverkkoina .....	17
5	VALOKAAPELEIDEN RAKENNE .....	17
5.1	Sydänrakenteet .....	18
5.2	Ulkokaapelit .....	19
5.3	Sisäkaapelit .....	20
6	PASSIIVISET KOMPONENTIT JA ASENNUSTARVIKKEET .....	22
6.1	Optisen liittimen ominaisuudet .....	22
6.2	Päätteet.....	24
6.3	Häntäkuidut, kytkentäkaapelit sekä valmiskaapelit.....	24
6.4	Jatkokset.....	26
7	OPTISEN LIITYNTÄVERKON SUUNNITTELU .....	27
7.1	Suunnittelun merkitys ja lähtökohdat .....	27
7.2	Kaapelireitin suunnittelu .....	29
7.3	Suunnitelman viimeisteleminen.....	30
8	OPTISTEN KAAPELEIDEN ASENNUSMENETELMÄT .....	31
8.1	Maa-asennus auraamalla .....	31
8.2	Kanava-asennus vetämällä ja puhaltamalla .....	33
8.3	Mikrokanavatekniikka ja matala-asennustekniikat.....	34
9	LIITYNTÄVERKOSTA KIINTEISTÖÖN .....	35
9.1	Kiinteistön talojakamo .....	35
9.2	Kotijakamo.....	37
9.3	Optisten yhteyksien mittaukset .....	38
9.3.1	Vaimennuksen mittaus valokaapelitutkalla.....	39

9.3.2 Vaimennuksen mittaus tehomittaparilla .....	41
9.3.3 Valokuitujen läpisoitto .....	42
10 OPTISEN VERKON YLLÄPITO JA VIANKORJAUS .....	42
10.1 Liityntäverkon ylläpito.....	43
10.2 Kiinteistön omistajan vastuu.....	44
10.3 Verkon viankorjaus .....	44
11 POHDINTA.....	46
LÄHTEET.....	47

## 1 JOHDANTO

Teknologian ja älylaitteiden kehittyessä entistä useammassa kodissa erilaiset kodinkoneet ja tavarat ovat liitettynä verkkoon, mikä asettaa kodin tai yrityksen verkkoyhteydelle isompia vaatimuksia. Suoratoistopalveluista halutaan katsoa sarjoja tai elokuvia ilman pätkimistä, ja vaikka internetiä selailisi ainoastaan satunnaisesti, niin nopea valokuituyhteys luo käyttömukavuutta yhteyden vakaalla laadulla. Valokuitu luo myös tehokkuutta yrityksille sekä oppilaitoksille datan siirtyessä nopeammin ja etätyöskentelyn sekä verkko-opiskelun suosio kasvaa. Valokuitu jopa nostaa kiinteistön arvoa, sillä valokuidun saatavuus lisää kiinnostusta kiinteistöä vuokratessa ja myyessä (KaseNet 2018).

Tällä hetkellä ollaan kehittämässä langatonta 5G-tekniikkaa, joka tulee mullistamaan langattomien yhteyksien nopeudet. 5G-yhteyksien toiminta vaatii suuren määrän uusia tukiasemia, koska suuremmat tietoliikennenopeudet vaativat tukiasemat entistä lähemmäksi käyttäjää. Tukiasema taas ei toimi ilman valokuitua, joten myös valokuidun rakentamisen odotetaan kiihtyvän entisestään. Näin ollen voidaan todeta, että valokuituun panostaminen on samaan aikaan myös mobiiliverkkojen kehittämistä. Tulevaisuudessa älykkäät kaupungit sekä esimerkiksi terveydenhuollon ja teollisuuden digitalisoituminen perustuvat nopeisiin verkkoyhteyksiin. (Eklund 2018.)

Opinnäytetyön tavoitteena on kertoa optisen verkon rakentamisen vaiheista kohti kiinteistöä, kun asiakas on päättänyt hankkia kiinteistöönsä valokuidun. Tarkoituksena on myös luoda ymmärrystä valokuituyhteyden hankinnan kannattavuudesta ja tiedonsiirron ominaisuuksista perinteiseen kuparikaapelointiin verrattuna. Rakentaminen vaatii aina huolellista suunnittelua, sillä kuituverkon on oltava mahdollisimman pitkäikäinen ja kestävä ympäristön olosuhteet. Valokuiturakentamisen menetelmiä pyritään kehittämään nopeammiksi ja ympäristöystävällisemmiksi, jotta lähialueille aiheutuvaa haittaa voitaisiin minimoida.

## 2 OPTISEN TIEDONSIIRRON TAUSTA

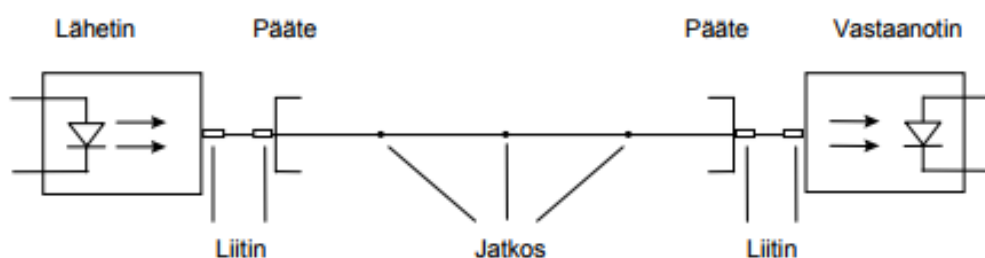
Optisten kuituyhteyksien kehittäminen alkoi laserin keksimisen jälkeen 1960-luvulla. Tutkimustöiden edetessä kävi ilmi, että tämän tyyppisen todella nopean laajakaistajärjestelmän toteuttamisen edessä on paljon isoja ongelmia ratkaistavana. Optisessa kuidussa oli kuitenkin paljon etuja kuparikaapeleihin verrattuna, mikä teki siitä hyvin kiinnostavan. Optisen tiedonsiirron kaupallinen historia alkoi siitä, kun vuonna 1970 yritys nimeltä Corning Glass Works valmisti optisen kuidun, jonka vaimennus oli ainoastaan 17 dB/km. Alle 20 dB/km vaimennus oli merkki optisen tiedonsiirron valmiudesta olla teknisesti kilpailukykyinen vaihtoehto koaksiaalikaapeleille. Tämän jälkeen kehitys oli nopeaa. Vuonna 1973 saavutettiin ainoastaan 4dB/km vaimennus astettaistatekertoimisella monimuotokuidulla. 2000-luvulla oli mahdollista saavuttaa yksimuotokuidulla alle 0,2dB/km vaimennus. (Helkama 2001, 7; Keiser 2003, 21-22.)

Suomessa ensimmäiset valokaapeleiden asennukset televerkossa tehtiin vuonna 1979. Valokaapeleille oli siihen aikaan ominaista mekaanisesti raskas rakenne nykyisiin kaapeleihin verrattuna, sekä pieni määrä kuituja. Vuonna 1985 televerkon valokaapeleissa aloitettiin yksimuotokuitujen käyttö, ja ne syrjäyttivät monimuotokuidut nopeasti. Optisten liityntäverkkojen rakentaminen lähti lopullisesti voimakkaasti kasvuun Suomessa 2000-luvulla. Valokaapeleista on tullut alan ammattilaisille arkipäivää ja sen salaperäisyys on vähentynyt tiedon ja kokemuksen kasvaessa. (Helkama 2001, 7; Koivisto 2009, 75-76.)

Vuonna 2016 Suomessa oli laajakaistaliittymiä noin 3,8 miljoonaa, joista noin 45 prosenttia oli kiinteän verkon laajakaistaliittymiä ja muut 55 prosenttia matkaviestiverkossa olevia laajakaistaliittymiä. Viime vuosina optisten liityntäverkkojen rakentaminen on ollut vilkasta, ja verkot alkavat muuttua optisiksi monipalveluverkoiksi. Laajakaistan käsitteestä on tulossa tarpeeton, koska valokuidussa kaistan riittävyys on itsestään selvä asia. Mobiiliverkkojen puolella optinen kuitu ulottuu 5G-tekniikan myötä entistä syvemmälle verkkoon lähemmäksi loppukäyttäjää. (Koivisto 2017, 8.)

### 3 TIEDONSIIRRON TOIMINTAPERIAATE

Optisessa tiedonsiirrossa signaalia siirtyy valon muodossa lähettimestä vastaanottimeen optista kuitua pitkin (kuva 1). Lähettimen tehtävä on sähköisen signaalin muuntaminen valoksi, sekä valon sovitus optiseen kuituun. Tämän jälkeen vastaanotin vastaanottaa valon ja muuttaa sen sähköiseen muotoon. Valosignaalin siirtyessä se menettää osan tehostaan, ja tätä kutsutaan vaimennukseksi. Lisävaimennusta syntyy myös kuitujatkoksista. (Helkama 2001, 8.)



Kuva 1. Periaate optisessa tiedonsiirrossa yksinkertaistettuna (Helkama 2001, 9).

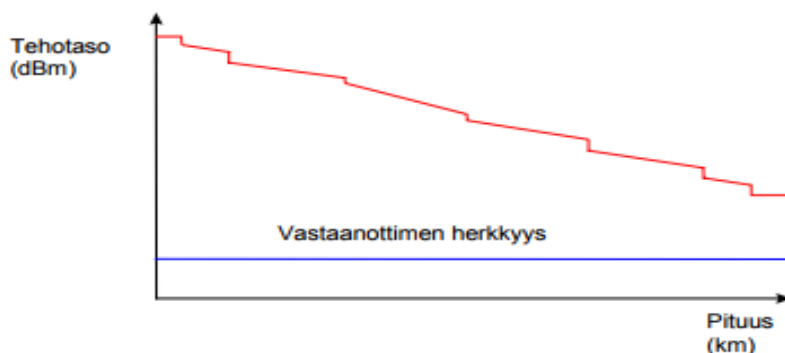
Lähettimen komponenttina käytetään LED- sekä laserkomponentteja, jotka perustuvat puolijohdetekniikkaan. Laserissa on isompi lähtöteho, pienempi nousuaika sekä kapeampi spektri. Näin ollen laserlähetin sopii paremmin pidemmille yhteyksille sekä suuremmille nopeuksille yksimuotokuitusovelluksiin. LED-lähetimet ovat yleisempiä lyhyemmillä siirtoetäisyyksillä ja pienemmillä nopeuksilla, joten niitä käytetään monimuotokuitusovelluksiin. Yksimuotokuidun ja monimuotokuidun toiminnallisuudesta kerrotaan tarkemmin luvussa 3.3. (Helkama 2001, 72.)

Vastaanottimessa ilmaisinkomponentteina ovat PIN-diodit ja vyöryvalodiodit. Ilmaisinkomponentin tehtävänä on muuntaa vastaanotettu valosignaali sähköiseksi. Tärkeimpiä ominaisuuksia vastaanottimessa on herkkyys sekä dynamiikka. Herkkyys on pienin optinen teho, jolla voidaan saavuttaa virheetön toiminta. Dynamiikka ilmoittaa tehon alueen, jossa vastaanotin toimii. Jos dynamiikka ei ole riittävä, niin lyhyille yhteyksille tarvitaan vaimentimia. (Helkama 2001, 73.)



### 3.1 Vaimennus

Kuidussa etenevän valotehon pienenemistä kutsutaan vaimennukseksi. Lähettimestä lähtenyt teho pienenee kokonaisvaimennuksen verran. Vastaanotettavan tehon on kuitenkin oltava niin suuri, että vastaanotin kykenee tunnistamaan sen. Kuvassa 2 on esitetty tehotason vaimeneminen. (Nestor Cables 2015, 23.)

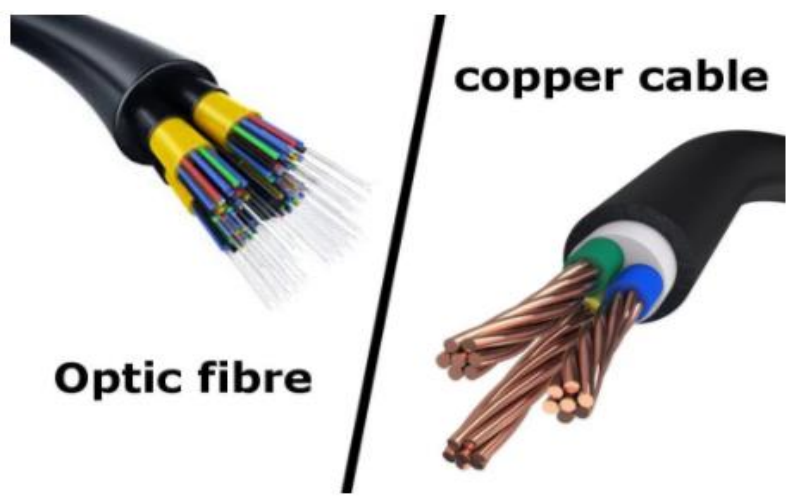


Kuva 2. Tehotason vaimeneminen (Helkama 2001, 9).

Kuidun vaimenemisen pääasialliset syyt ovat absorptio sekä sironta. Absorptiossa kuidussa olevat epäpuhtaudet aiheuttavat valotehon imeytymistä kuidun materiaaliin. Sironta on kuidussa sijaitsevien pienistä taitekerroineroista aiheutunutta heijastumista jokaiseen suuntaan. (Koivisto 2017, 27.)

### 3.2 Optisen tiedonsiirron ominaisuuksia

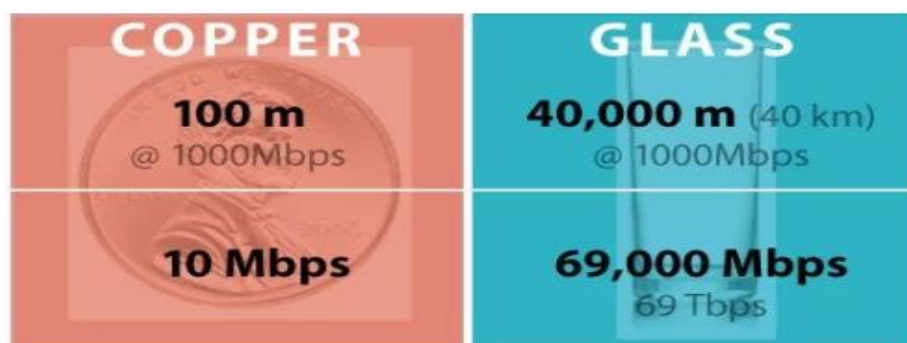
Optisella kuidulla on todella suuri tiedonsiirtokyky. Kuparikaapeleihin verrattuna kuidulla on suurempi kaistanleveys ja pienempi vaimennus. Ennen kaikkea pienen vaimennuksen etu tulee esiin runkoverkoissa. Kuitukaapeleiden käsitteleminen ja asentaminen on helpompaa kuin kuparikaapeleiden, koska ne ovat kevyempiä sekä pienempiä (kuva 3). Kaapelit vievät myös vähemmän tilaa kaupunkien sekä taajamien kanavaputkissa. (Helkama 2001, 10.)



Kuva 3. Kuitu on kupariin verrattuna kevyempi ja kapeampi. (Daftardar 2016.)

Yleisin käytetty materiaali kuidussa on lasi. Lasi on sähköisesti eristävää materiaalia, joten sähkömagneettisia häiriöitä ei ilmene. Esimerkiksi ukkosen, tai sähköverkon aiheuttamat ylijännitteet eivät tuota ongelmia. Lasia käsiteltäessä on kuitenkin muistettava huolellisuus, sillä toisin kuin metallissa, siitä puuttuu kokonaan elastiset ominaisuudet. Lasin käyttäytyminen kuitenkin tunnetaan, ja sen ominaisuudet otetaan huomioon oikealla käsittelyllä ja suojarakenteilla. (Helkama 2001, 10-11.)

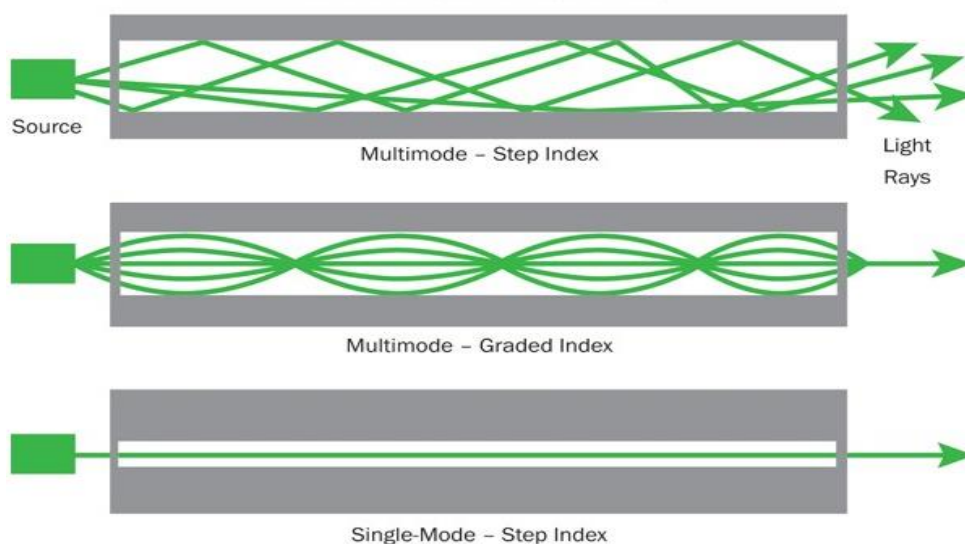
Optiset tiedonsiirtojärjestelmät ovat luotettavia ja taloudellisia. Kuidusta on vuosien edetessä tullut entistä halvempaa, joka on edistänyt sen taloudellista käyttöä, vaikka käyttäjämäärät olisivatkin pienempiä. Se on erinomainen investointi tulevaisuutta ajatellen, koska hyvin toteutettu optinen verkko palvelee vuosikymmenten ajan. Kapasiteettia on riittävästi, ja sitä rajoittaa ainoastaan käytössä oleva laitetekniikka. Laitetekniikka kuitenkin kehittyy nopeasti sekä jatkuvasti. (Helkama 2001, 11.)



Kuva 4. Kuidun kaistanleveys on huomattavasti suurempi. (Daftardar 2016.)

### 3.3 Kuitutyytit

Valokuidut voidaan jaotella valon etenemisen ja kuidun taitekerroinprofiilin mukaan eri tyyppisiin (kuva 5). Selkeästi yleisin jako on yksimuotokuidut sekä monimuotokuidut. Monimuotokuidussa valon eteneminen tapahtuu usealla etenemisreitillä ja useassa eri muodossa. Eri reittejä kulkevilta valonsäteiltä kuluu kuidun kulkemiseen eri aika. Tästä syystä valopulssit levenevät edetessään kuitua pitkin. Yksimuotokuidussa kuidun ytimen halkaisija on pienempi, ja tästä syystä valon eteneminen tapahtuu yhtä reittiä pitkin, eli yksimuotoisena. Tästä syystä valopulssien levenemistä ei tapahdu ollenkaan. Kuvassa 5 esitetään valon eteneminen step index multimode fibressa eli askelkuidussa, graded index multimode fibressa eli astettaiskuidussa, sekä yksimuotokuidussa. (Koivisto 2009, 13.)



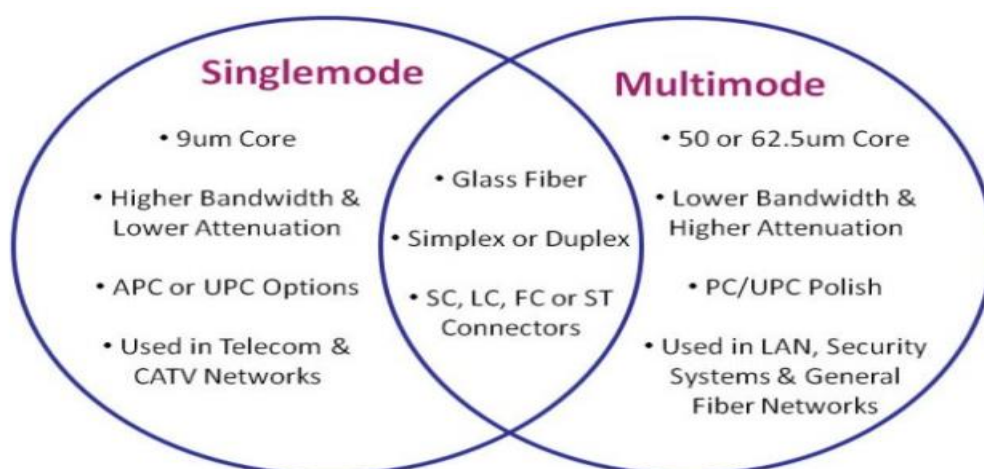
Kuva 5. Valon eteneminen eri kuitutyypeissä. (Zhang 2016.)

Askelkuidussa taitekerroin muuttuu kuoren ja ytimen rajalla. Ytimen halkaisija on käytetyn valon aallonpituutta paljon suurempi, ja tästä syystä kuidussa etenee monta eri muotoa eri kulmissa heijastellen. Valopulssin eri etenemiskomponenteilla on eri matka kuljettavana, joten pulssi levenee edetessään kuidussa. Tätä kutsutaan muotodispersioksi. Matkan varrella osa valotehosta häviää, eli syntyy vaimennusta, joka näkyy vastaanotettavan pulssin vaimenemisena. (Helkama 2001, 19.)

Astettaiskuidussa taitekerroin muuttuu ytimessä kohti kuorta astettaisesti poikkileikkauksen säteen suunnissa. Tästä syystä valonsäteiden kulkeminen tapahtuu vähitellen taittumalla, toisin kuin heijastumalla jyrkästi, kuten askelkuidussa. Askelkuidun tavoin valo etenee kuidussa useassa eri muodossa, mutta valon nopeus on ytimen reunoilla suurempi kuin keskiosassa. Näin ollen muotodispersio on pienempi askelkuituun verrattuna. Kuten kuvasta 5 voidaan todeta, niin vastaanotetun pulssin levenemä on askelkuitua pienempää. Myös astettaiskuidun vaimennus on pienempi, kuin askelkuidussa. (Helkama 2001, 19.)

Yksimuotokuidussa ytimen halkaisija on todella pieni, ja taitekerroinero sen tyyppinen, että käytetyllä aallonpituudella etenee ainoastaan yksi muoto. Myös vaimennus on yksimuotokuidussa erittäin pientä monimuotokuituihin verrattuna. Muotodispersiota ei synny yhtään, mutta toisaalta yksimuotokuidussa esiintyy toisenlaista, kromaattista dispersiota. Tämän vaikutus ilmenee niin, että valosignaalin sisältämät, hieman toisistaan eriävät aallonpituudet etenevät eri nopeudella kuidussa. (Helkama 2001, 20.)

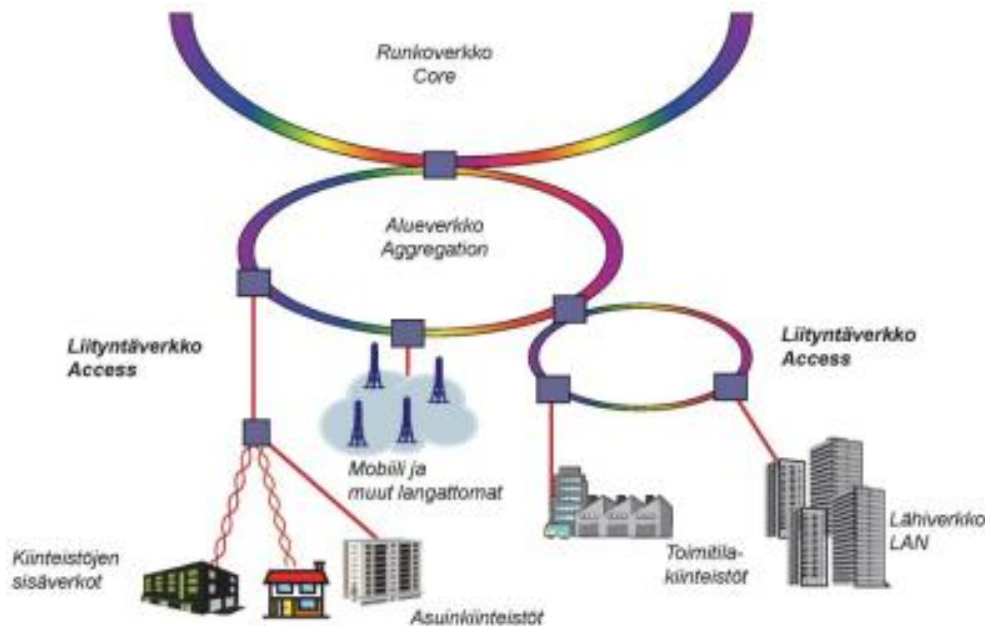
Monimuotoa tai yksimuotoa valitessa tulisi huomioida ympäristön vaatimukset. Monimuotokuitua käytetään yleensä silloin, kun etäisyydet ovat lyhyempiä, esimerkiksi 300-400 metriä. Yksimuotokuitu soveltuu myös pidemmille, jopa kymmenien kilometrien matkoille. Kuvassa 6 on verrattu monimuodon ja yksimuodon ominaisuuksia keskenään. (Zhang 2016.)



Kuva 6. Ominaisuuksia ja käyttöympäristöjä. (Zhang 2016.)

## 4 TELEVERKKO

Televerkko, eli yleinen viestintäverkko, jaetaan hierarkiassa kolmeen tasoon, jotka ovat runkoverkko, alueverkko sekä liityntäverkko. Kuvassa 7 kuvataan viestintäverkon rakenne ja edellä mainitut tasot. (Nestor Cables 2015, 7.)



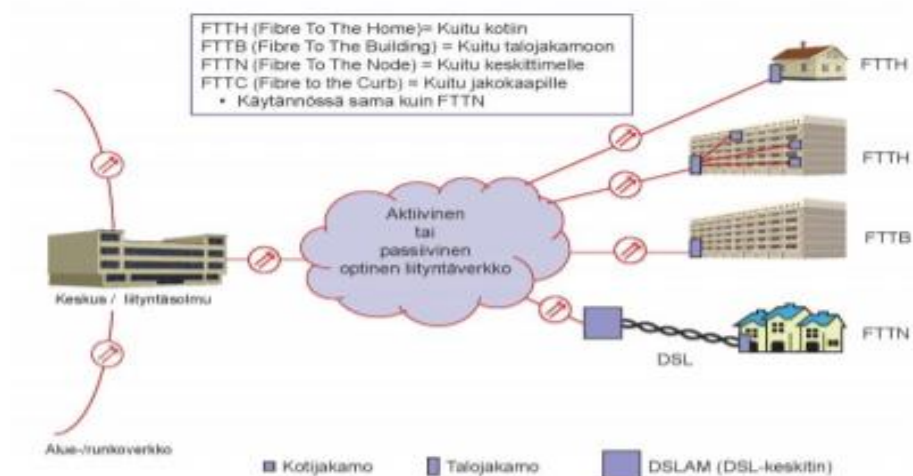
Kuva 7. Televerkon hierarkia kuvattuna. (Nestor Cables 2015, 7.)

Liityntäverkolla tarkoitetaan hierarkian osaa, johon verkkojen asiakkaat tai kiinteistöjen omat viestintäverkot liittyvät. Optisten liityntäverkkojen rakentaminen on lähtenyt Suomessa hurjaan kasvuun viime vuosina. Avainteknologioina ovat Ethernet ja IP. Lähes jokaisen kuluttajan yhteys alkaa ja päättyy Ethernet-yhteydellä, hyödyntäen IP-protokollaa. Tänä päivänä Ethernet on laajentunut lähiverkon lisäksi myös runko- ja alueverkkoihin sekä liityntäverkkoihin. (Nestor Cables 2015, 7.)

### 4.1 FTTX

Termi FTTX kuvaa kuidun ulottumista optisessa liityntäverkossa. Viimeinen kirjain ilmoittaa, mihin asti verkko ulottuu optisessa muodossa. FTTX-termien määrä on vuosien aikana lisääntynyt, mutta käytännössä kaikki tilanteet jaetaan kolmeen termiin. Näitä ovat FTTH, FTTB ja FTTN (kuva 8). FTTH, eli Fibre To The Home,

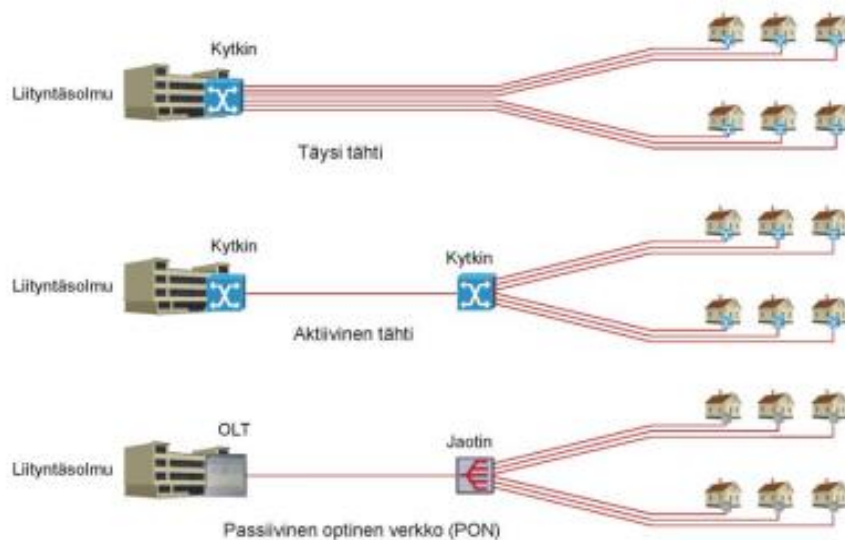
kuvaa kuidun ulottumista omakotitaloon, tai kerros- ja rivitalon asuinhuoneistoon asti. FTTB, eli Fibre To The Building, kuvaa kuidun ulottumista kerrostalon tai rivitalon talojakamoon asti. FTTN, eli Fibre to The Node, kuvaa kuidun ulottumista esimerkiksi DSL-keskittimelle, jonka sijainti on keskuksen ja talojakamon välisellä verkon osuudella. Tämä kattaa myös termin FTTC, joka tarkoittaa kuidun ulottumista katujakokaapille. (Nestor Cables 2015, 9-10.)



Kuva 8. FTTX-termit käytännössä. (Nestor Cables 2015, 10.)

## 4.2 Looginen topologia

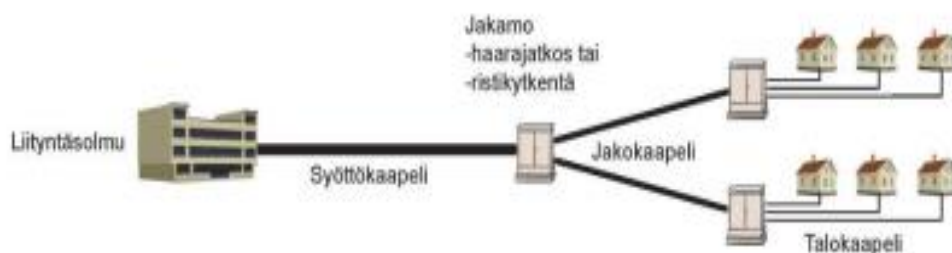
Topologian käsitettä käytetään, kun puhutaan verkon loogisesta tai geometrisesta muodosta, tai rakenteesta. Topologia on mahdollista määrittää verkossa eri tasoilla. Optinen liityntäverkko voidaan jakaa kolmeen loogiseen topologiaan, joita ovat täysi tähti, aktiivinen tähti sekä passiivinen optinen verkko. Täydessä tähdessä kaikki asiakasliittymät ovat liitettyinä liityntäsolmuun omalla P2P-yhteydellään. Aktiivisessa tähdessä kaikki asiakasliittymät ovat liitettyinä paikalliseen aktiivilaitteeseen eli kytkimeen omalla P2P-yhteydellään. Kytkin taas on liitetty liityntäsolmuun omalla P2P-yhteydellään. Monet asiakasliittymät jakavat kapasiteetin tässä yhteydessä. Passiivisessa optisessa verkossa kaikki asiakasliittymät ovat liitettyinä passiiviseen jaottimeen omalla yhteydellään. Jaotin on liitettyinä liityntäsolmuun yhdellä yhteydellä. Kuvassa 9 on esitetty verkon looginen topologia (Nestor Cables 2015, 76.)



Kuva 9. Optisen liityntäverkon topologiat (Nestor Cables 2015, 77).

#### 4.3 Fyysinen topologia

Kuitutopologia ja kaapelitopologia ovat keskeisiä infrastruktuurin eli fyysisen verkon näkökulmasta. Fyysisen verkon on tuettava isoa tietoliikennejärjestelmien joukkoa, ja sen tulisi olla pitkäikäinen. Verkon siirtoteiden suorituskyvyn on mahdollistettava kasvavat siirtonopeudet mahdollisimman kauaksi tulevaisuuteen. Verkon eri osuuskien kuitumäärien tulisi mahdollistaa monien tietoliikennepalveluiden toteutukset vaihtoehtoisilla tekniikoilla samaan aikaan. Tärkeää on myös, että kuitukapasiteetti riittää alussa verkkoon liittyvien asiakkaiden lisäksi myös myöhemmin verkkoon liittyville asiakkaille. Kuvassa 10 on esitetty verkon fyysinen kaapelitopologia. (Nestor Cables 2015, 98-99.)



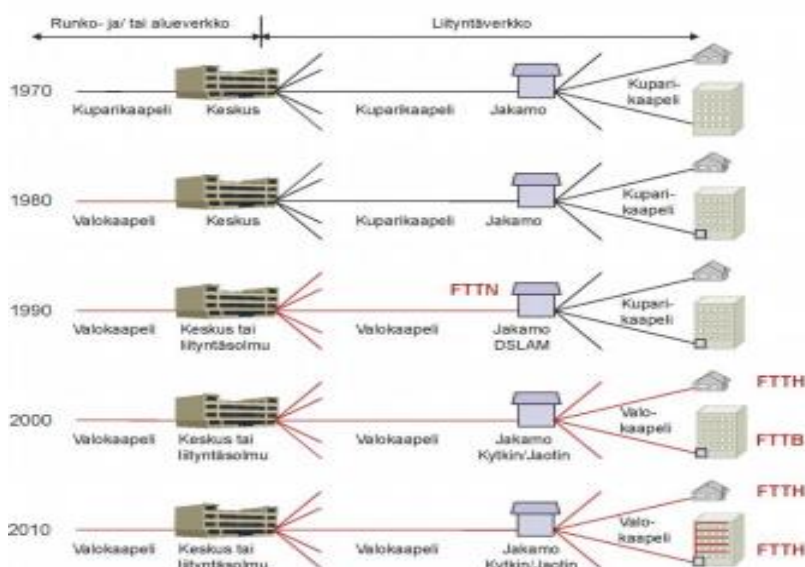
Kuva 10. Fyysinen kaapelitopologia (Nestor Cables 2015, 99).



#### 4.4 Siirtotekniikoiden kehitys viestintäverkoissa

Viestintäverkoissa käytetyt siirtotekniikat ovat kehittyneet ajan saatossa kaikilla verkon tasoilla, eli runkoverkoissa, alueverkoissa, liityntäverkoissa sekä kiinteistöjen sisäverkoissa. Tietoliikenteen määrän kasvu on verkkojen kehitystä ohjaava voima, ja kasvu tulee jatkumaan myös tulevaisuudessa. (Nestor Cables 2015, 6.)

Nykyajan tietoliikennejärjestelmät ovat digitaalisia, ja näiden siirtokapasiteetti ilmoitetaan yksiköllä bit/s, eli bittiä sekunnissa. Tänä päivänä Gbit/s ja jopa Tbit/s ovat yleisiä. Melkein 40 vuotta sitten viestintäverkon kapasiteetti kuvattiin ilmoittamalla, kuinka monta puhelua pystyttiin välittämään. Eräänlaisena kehityskaaren huippuna oli 60 MHz:n analogisen koaksiaalikaapelijärjestelmän kehittäminen. Se pystyi välittämään 10 800 puhelua runkoverkossa yhtäaikaaisesti. Samaan aikaan kuitenkin kehitettiin jo optista siirtotekniikkaa, ja kehitys oli jo edennyt vaiheeseen, jossa valokaapeli pystyi haastamaan koaksiaalikaapelin ja myös syrjäyttämään sen nopeasti. 1980-luvulla valokaapelin käyttö laajeni runkoverkoista myös verkkojen alemmille tasoille, eli puhelinkeskusten väliseen liikenteeseen, jossa optinen siirtojärjestelmä syrjäytti kuparikaapeliin perustuvan PCM-järjestelmän. Seuraavaksi valokaapelin käyttö laajeni liityntäverkkoon. Kuvassa 11 on esitetty valokaapelin käytön lisääntyminen televerkossa. (Nestor Cables 2015, 6.)



Kuva 11. Valokaapelin käytön lisääntyminen. (Nestor Cables 2015, 6.)



#### 4.5 Mobiiliverkot liityntäverkkoina

Mobiiliverkon tekniikan kehittyminen on ollut viime vuosina erittäin nopeaa. Mobiililaajakaistayhteyden käyttäminen on lisääntynyt hurjasti, ja nopeudet ovat kasvaneet entisestään. 4G-tekniikka on mahdollistanut kymmenien megabittien langattomia yhteyksiä yrittäjille, kuluttajille sekä muille asiakkaille. Tulevaisuudessa 5G-tekniikan myötä mobiiliverkkojen nopeudet tulevat kasvamaan entisestään, jolloin tukiasematiheys kasvaa. Tämän takia optisen verkon tulee ulottua entistä lähemmäksi käyttäjää. Mobiiliverkko tarvitsee kiinteää optista verkkoa tueksi, jolloin myös optisen kuidun käyttäminen kasvaa, ja kuitua viedään yhä pidemmälle verkkoon. Näin ollen valokuitu on jatkuvasti tulossa entistä lähemmäksi myös mobiiliverkkojen käyttäjiä. (Nestor Cables 2015, 8-9.)

Mobiilitekniikan suurin etu on käyttäjän liikkumisen mahdollistaminen. Mobiililaajakaistaa käytetään kiinteän verkon rinnalla, joten mobiililaajakaista nähdään enemmänkin kiinteää laajakaistaa täydentävänä sen sijaan, että se korvaisi sen kokonaan. Tietyillä alueilla mobiililaajakaista voi kuitenkin olla ainoa taloudellisesti järkevä vaihtoehto, kuten harvaan asutuilla tai syrjäisillä alueilla. (Nestor Cables 2015, 9.)

### 5 VALOKAAPELEIDEN RAKENNE

Valokaapelin rakenteen tehtävä on optisten kuitujen suojaus erilaisilta rasituksilta asennuksen, käytön, kuljetuksen sekä varastoinnin aikana. Tarkoituksena on kuitujen siirto-ominaisuuksien turvaaminen jopa 30 vuodeksi, joka on kaapelin arvioitu elinikä. Kaapelin tulisi olla helposti asennettava, edullinen sekä sopiva materiaaleiltaan. Ulkokaapelit ja sisäkaapelit ovat kaksi pääryhmää, joihin valokaapelit voidaan jakaa asennusympäristönsä perusteella. (Nestor Cables 2015, 31.)

## 5.1 Sydänrakenteet

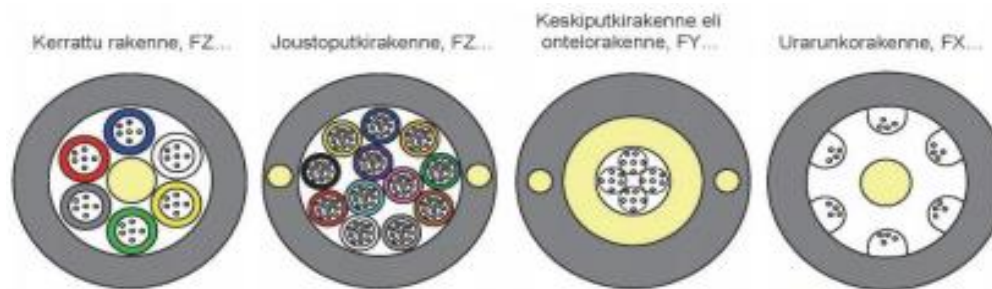
Kaapeleiden sydänrakenteet voidaan jakaa kerrattuun rakenteeseen, joustoputkirakenteeseen, urarunkorakenteeseen sekä ontelorakenteeseen (kuva 12). Kerratussa rakenteessa valokuidut tai valokuituryhmät kerrataan keskielementin ympäri. Keskielementti on samaan aikaan myös vetoelementtinä kaapelille. Kerratulla rakenteella on mahdollista päästä todella suureen kuitumäärään, joten se on optisessa liityntäverkossa yleisin käytetty kaapelityyppi. Rakenne on näistä neljästä sydänrakenteesta vanhin ja perinteisin kaapelirakennemalli. (Helkama 2001, 30-31; Koivisto 2017, 35-36.)

Joustoputkirakenne on samankaltainen kerrattuun rakenteeseen nähden. Molemmissa on kuituputket, mutta joustoputkirakenteen putket ovat taipuisampia ja pienempiä kuin kerratun rakenteen putket. Kumimaisen materiaalin takia ne ovat myös helposti käsiteltäviä sekä tilaa säästäviä, joka on suuri etu, kun kaapelia jatketaan tai päätetään. Rakenteesta puuttuu kokonaan keskielementti, ja tästä syystä vetolujuus pitäisi saada muilla keinoilla aikaiseksi. Suuret kuitumäärät ovat joustoputkirakenteella mahdollisia, joten se sopii erinomaisesti liityntäverkkoihin jako- ja syöttökaapeliksi. (Koivisto 2017, 36.)

Urarunkorakenteessa kaapeleiden sydämet muodostuvat muovisista tangoista, jotka sisältävät pituussuuntaisia uria ja ne kiertävät rungon ympärillä vaihtosuuntaisesti tai helikaalisesti. Erinomainen puristuslujuus sekä selkeys rakenteessa tuovat etua asentamisen kannalta. Valokuidut ovat saatavissa ryhminä tai yksitellen jatkamis- tai päättämistöitä varten. Rakenteen käyttäminen on kuitenkin yleisempää sisäverkon kaapelina ja talokaapelina. Kuitujen määrä on yleensä maksimissaan 48 kappaletta. (Helkama 2001, 31; Koivisto 2017, 36.)

Ontelorakenteet muodostuvat putkesta, jossa valokuidut ovat väljästi sisällä. Urarungon tavoin ontelorakenteen etuna on hyvä puristuslujuus. Riittävän vetolujuuden mahdollistaa sydämen ja vaipan välissä oleva lujitekerros, tai vaipassa sijaitsevat vetoelementit. Ontelorakennetta käytetään usein runkoverkkojen rakenteena, sekä liityntäverkossa osina, jos kaapelin kuitumäärä on riittävä. Yleensä

ontelorakenteessa olevien kuitujen määrä rajoittuu 96 kappaleeseen. (Helkama 2001, 31; Koivisto 2017, 36.)



Kuva 12. Valokaapelin sydänrakenteet (Koivisto 2017, 36).

Sisätiloissa ja ulkona ovat erilaiset olosuhteet, jotka asettavat kaapelin materiaalille ja rakenteelle eri vaatimuksia. Tästä syystä pääjako edellä mainittuun neljään ryhmään on hyvin tärkeää kaapelin käytön luotettavuuden takia. Sisä- ja ulkoasennuksissa on kuitenkin muitakin kaapelin materiaaleihin ja rakenteisiin vaikuttavia tekijöitä. (Koivisto 2017, 37.)

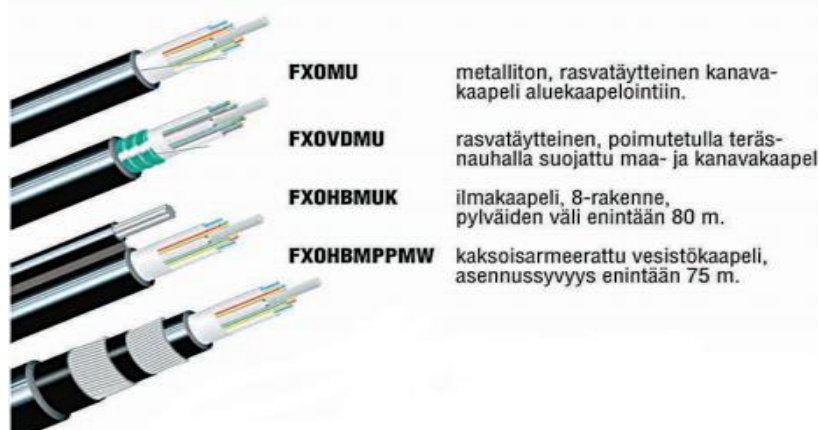
## 5.2 Ulkokaapelit

Ulkokaapelit voidaan jakaa asennustavan mukaan joko kanava- ja maakaapeleihin, ilmakaapeleihin sekä vesistökaapeleihin. Kaapeleiden tärkeimpiä ominaisuuksia ovat maa-asennuksen osalta vesitiiviys ja kunnollinen veto- ja puristuslujuus. Tarpeeksi luja rakenne saadaan esimerkiksi urarunkorakenteella. Lujuutta on mahdollista kasvattaa myös pyörölanka-armeerauksella ja teräslaminaatilla, mutta kaapelin kustannukset tulevat nousemaan raskaamman kaapelin myötä. Hyvin usein maakaapelit saatetaan suojata myös muoviputken avulla. (Helkama 2001, 37-38.)

Ilmakaapelille laaja olosuhteiden vaihtelu talven kylmimmistä pakkasista kesän kuumimpiin auringonpaisteisiin on hyvinkin tyypillistä. Ilmakaapeleissa on sinkitty teräskannatinköysi osana vaippaa, joka on suunniteltu kestävänsä kaapelin oma paino, ja sen lisäksi myös tuuli- ja jääkuormat. (Helkama 2001, 38.)

Vesistökaapeleihin kohdistuu veden pohjassa tapahtuvaa hankausta sekä vetorasitusta. Rakenteeltaan ne ovat pyörölanka-armeerattuja. Vesistökaapelin on kyettävä kestämaan vedenalainen paine, koska jokaista 10 metriä kohden paine kasvaa 100 kPa. Kaapelin on myös asetettava sopivasti vesistön pohjaa myötäileväksi. Syvän veden kaapelit vaativat matalan veden kaapeleihin verrattuna huomattavasti raskaampia vaippa- sekä armeerausrakenteita. Kuvassa 13 on esitetty edellä mainittuja erilaisia ulkokaapelimalleja. (Helkama 2001, 39.)

Uutena asennustekniikkana optiseen liityntäverkkoon ovat mikrokanavajärjestelmät. Mikrokanavatekniikassa käytetään varsinaisessa putkessa olevia, tai putkinipussa olevia pienemmän kokoisia putkia, joihin kevyet ja pienikokoiset mikrokaapelit on mahdollista puhalttaa, ja joiden sisällä ne pysyvät suojassa. Tyypillisesti mikrokaapelissa voi olla 4-144 kappaletta kuituja. (Koivisto 2017, 37.)

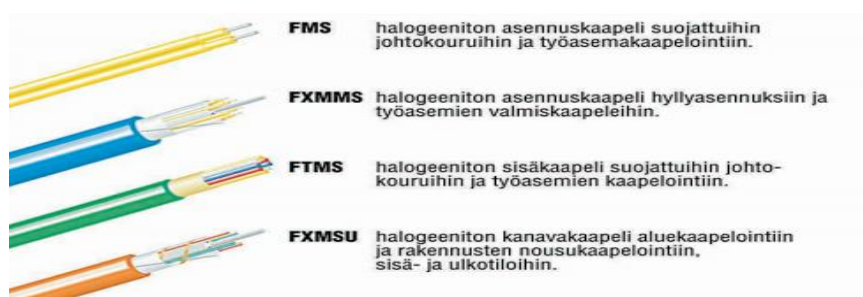


Kuva 13. Erilaisia ulkokaapelimalleja (Helkama 2001, 87).

### 5.3 Sisäkaapelit

Sisäkaapeleihin kuuluvat rakennuksien runko- ja nousukaapelit. Ne ovat metallittomia ja rasvattomia, ja sydärakenteeltaan kaapelit voivat olla joko urarunko- tai ontelorakenteisia, sekä kerrattuja. Yksikuituinen kaapeli muodostuu tiukkapäälysteisestä valokuidusta, paloturvallisesta vaipasta, sekä vetolujitteista. Monikuituisien asennuskaapeleiden yksikuituiset elementit sijaitsevat urarungon urissa tai ne ovat kerrattuna keskielementin ympärille. (Helkama 2001, 35.)

Sisäkaapeliasennuksien keskeisenä näkökulmana on paloturvallisuus. Kun tiedonsiirtokaapeleita asennetaan rakennuksiin entistä suurempia määriä, niin on tärkeää, ettei rakennuksen paloturvallisuus heikkene. Tähän voidaan vaikuttaa asennustavoilla ja kaapelivalinnoilla. Sisäkaapelin minivaatimuksena on itsestäänsammutavuus. Kuvassa 14 on esitetty erilaisia sisäkaapelimalleja. (Helkama 2001, 35-36.)



Kuva 14. Erilaisia sisäkaapelimalleja (Helkama 2001, 86).

Viestintäviraston vuoden 2018 määräyksen mukaan kaapeleiden tulee täyttää rakennuksien sisällä vähintään paloluokan E vaatimukset. Niitä tietoliikennekaapeleita, jotka eivät täytä vaatimuksiltaan kyseistä paloluokkaa, saa käyttää rakennuksen ulkopuolelta tuotaessa enintään 5 metrin pituudelta. Näitä kaapeleita ei tule viedä palo-osastosta toiseen, eivätkä saa ylittää 5 metrin pituutta rakennuksien sisätiloissa edes palosuojattuna. Tällaiset kaapelit on päätettävä tai jatkettava paloluokan E kaapeliin enintään 5 metrin jälkeen rakennuksen sisääntulopaikasta. (Viestintävirasto 2018.)

Sisäkaapelit ovat ulkokaapeleihin verrattuna kevyempiä ja kooltaan pienempiä. Optiset sisäkaapelit ovat kehitetty sellaisiksi, että niitä on mahdollista käsitellä muidenkin sisäkaapeleiden tavoin. Markkinoilla on myös hyvin paljon kaapeleita, jotka täyttävät vaatimukset sekä sisä- että ulkoasennuksen osalta. Näitä kutsutaan sisäulkokaapeleiksi, ja niitä käytetään usein nousu- ja aluekaapeleina. Nämä kaapelit ovat paloturvallisia, vesitiiviitä, ja tiettyyn rajaan asti ympäristön ja sään kestäviä. Sisäulkokaapelit ovat kuitenkin tarkoitettu kanava-asennukseen, joten niitä ei tule asentaa suoraan maahan. (Koivisto 2017, 37.)

## 6 PASSIIVISET KOMPONENTIT JA ASENNUSTARVIKKEET

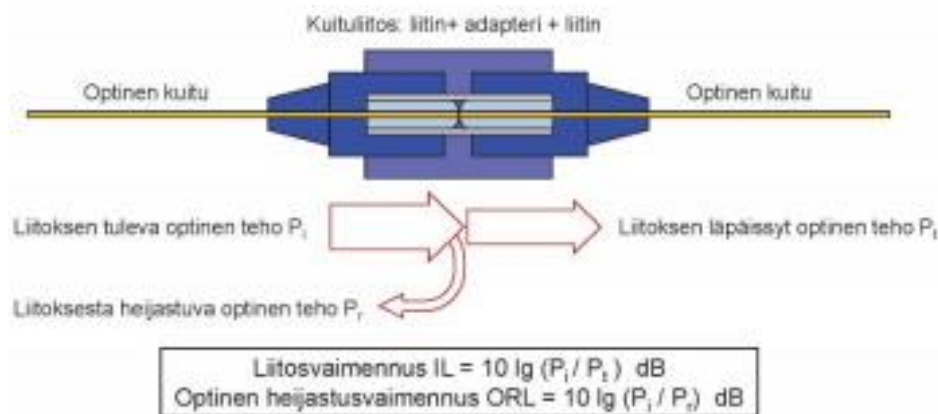
Optisessa kaapeloinnissa käytetään päättämisen ja jatkamisen yhteydessä erilaisia tarvikkeita. Näitä ovat esimerkiksi optiset liittimet, päätepaneelit- ja kotelot, häntäkuidut, kytkentäkaapelit sekä jatkosmateriaalit. Jatkokset ja liitokset ovat siirtoyhteyden kannalta aina kriittisiä, sillä siirtotien suorituskyky heikkenee liitoksessa ja jatkoksessa aina. (Viestintävirasto 2009.)

Optisia liittimiä käytetään paikoissa, missä liitoksia tarvitsee avata ja sulkea ilman erityisiä työkaluja. Tällaisia asennuspaikkoja ovat esimerkiksi optiset jakotelineet, päätepaneelit, mittalaitteet sekä siirtolaitteet. Optisellä liittimellä ei ole kuitenkaan mahdollista päästä hitsausjatkoksia vastaaviin suoritusarvoihin. Oikeaa liitintä käyttäen päästään kuitenkin riittävän hyviin arvoihin. (Viestintävirasto 2009.)

### 6.1 Optisen liittimen ominaisuudet

Hyvällä optisella liittimellä on suuri heijastusvaimennus, pieni liitosvaimennus ja hyvä stabiilius. Optinen heijastusvaimennus kertoo, miten hyvin valoteho menee liitoksesta läpi heijastumatta liitoksen rajapinnasta paluusuuntaan. Heijastusvaimennus ilmaistaan desibeleinä, ja mitä suurempi lukuarvo sillä on, sen parempi on liitos. Liittimen pään laatu ja puhtaus vaikuttavat heijastusvaimennukseen. Televerkoissa ja lähiverkossa vaaditaan yli 40 dB heijastusvaimennusta, sillä liian pieni vaimennus aiheuttaa mahdollisesti siirtovirheitä. (Nestor Cables, 48.)

Liitosvaimennus kertoo liitoskohdassa tapahtuvan tehohäviön. Toisin kuin heijastusvaimennuksessa, liitosvaimennuksen tulee olla mahdollisimman pieni. Liitosvaimennuksen ollessa alle 0,3 dB sekä yksimuoto- että monimuotokuidulla, voidaan puhua tyypillisesti hyvästä optisesta liitoksesta. Hyvä stabiilius tarkoittaa heijastusvaimennuksen ja liitosvaimennuksen muuttumattomuutta käyttöympäristössään. Liittimen rakenteelliset ominaisuudet vaikuttavat stabiiliuteen. Kuvassa 15 on esitetty optinen heijastusvaimennus sekä liitosvaimennus. (Nestor Cables, 48; Koivisto 2017, 43.)



Kuva 15. Liitosvaimennus ja optinen heijastusvaimennus (Nestor Cables, 48.)

Yksimuoto- ja monimuototekniikassa on yleisimpänä liitintyyppinä SC-liitin, eli Subscriber Connector, joka on Japanissa kehitetty holkkiliitin. SC-liitin on poikkileikkausmuodoltaan nelikulmainen ja sen liitinrunko on muovia. Sen avaaminen sujuu helposti vetämällä ja kytkeminen työntämällä. SC-liitin on ollut jo kauan standardiliitin kaapeloinneissa ja optisissa verkoissa, mutta viime vuosina myös LC-liitin on noussut nopeasti sen rinnalle, josta tulee tulevaisuudessa suurella todennäköisyydellä uusi standardiliitin. Päivitetyissä kaapelointistandardeissa SC-liitintä pitäisi käyttää nykyään ainoastaan valmiiksi asennettujen kaapelointiratkaisujen laajennuksissa. (Nestor Cables 2015, 52; Koivisto 2017, 46-47.)

LC-liitin eli Lucent Connector on Yhdysvalloissa kehitetty liitin. Sen suorituskyky on SC-liittimeen verrattuna saman tasoinen, mutta LC-liitin on fyysiseltä kooltaan puolet pienempi. Liittimen lukitusmekanismia voidaan verrata parikaapeloinnissa käytettävään RJ45-liittimeen. Liittimen kytkentä tapahtuu työntämällä, ja avaaminen painamalla liittimen lukitussalpa liitinrunkoa kohti ja vetämällä. Kuvassa 16 on esitetty LC-liitin ja SC-liitin.



Kuva 16. LC-liitin ja SC-liitin (Li 2015.)

## 6.2 Päätteet

Kuituja päättäessä tarvitaan ristikytkentöjä ja laiteliitäntöjä varten erilaisia paneeli- ja kotelorakenteita. Päätepaneeleita ja päätekoteloita käytetään esimerkiksi teleyrityksien teletiloissa ja asuinkiinteistöjen talojakamossa. Päätepaneelia ja päätekoteloita valittaessa tulisi huomioida päätettävien kaapeleiden määrä, päätettävä kuitumäärä, käytössä oleva tila, huolto- ja muutostöiden helppous sekä tarvittaessa lukittavuus. (Nestor Cables 2015, 60-61.)

Päätepaneelit asennetaan tavallisesti 19” telineeseen optisten kuitujen päättämistä ja ristikytkentöjä varten. Se sisältää läpiviennit kaapeleita varten, jatkoslevyt kuitujen jatkamista varten sekä liitinkentän laiteliitäntöjä varten. Päätepaneelin rakenteessa on usein kytkentäkaapeleiden ylimäärää varten tila ja suoja. Yleensä 19” paneeliin mahtuu 48-96 LC-liitinpaikkaa ja 24-48 SC-liitinpaikkaa. Näin ollen LC-liitin mahdollistaa suuren liitintihedden paneeleissa, mutta tällöin myös häntäkuitujen määrä kasvaa ja niiden hallinnasta tulee haastavampaa. (Nestor Cables 2015, 61-62.)

Päätekotelot voidaan asentaa suoraan seinälle esimerkiksi ilman edellä mainittua 19” kiinnitystä. Päätekoteloita voidaan käyttää silloin, kun päätettäviä kuituja on vähemmän. Asuinkerros- tai rivitalossa sekä omakotitalossa kuidut päätetään tavallisesti pieniin päätekoteloihin, joissa on enintään 4 paikkaa liittimille. Tämän tyyppinen kotelo pystytään asentamaan kotijakamoon, sekä omakotitaloissa suoraan seinälle. Jos päätekotelo halutaan omakotitalossa ulkoseinälle, tarvitaan myös seinän läpi kaapelointi sisätiloihin. Jos päätekoteloiden kytkennät ovat sijoitettuna avoimeen tilaan, niin erilaiset ulkopuoliset tekijät saattavat aiheuttaa toimivuudelle riskejä. Tämän takia kytkentäkaapeleiden ja päätteiden suojaukseen kannattaa kiinnittää huomiota. (Viestintävirasto 2009; Nestor Cables 2015, 61.)

## 6.3 Häntäkuidut, kytkentäkaapelit sekä valmiskaapelit

Häntäkuituja käytetään optisen kaapelin valokuitujen päättämistä varten päätepaneeleissa ja päätekoteloissa. Häntäkuidut ovat pituudeltaan tyypillisesti 1,5 metriä tai 2 metriä, ja niiden toisessa päässä on optinen liitin kiinnitettynä. Näiden



pituuksien ansiosta voidaan varmistaa optisen kaapelin kuitujen ja häntäkuitujen välistä jatkamista varten riittävä työvara. Häntäkuidusta toinen pää jatketaan päätettävän valokuitukaapelin kuituun ja toisessa päässä sijaitseva liitin kytketään päätepaneelin tai jakamon adapteriin. Jatkaminen voidaan tehdä mekaanista jatkosta käyttäen tai hitsaamalla, joista hitsaaminen on suositeltavampi tapa. Kuvassa 17 on esitetty esimerkit SC- ja LC-häntäkuiduista. (Koivisto, 2017, 49.)



Kuva 17. Vasemmalla SC-häntäkuitu ja oikealla LC-häntäkuitu. (Koivisto 2017, 50.)

Jakamoiden aktiivilaitteet kytketään kytkentäkaapeleilla kaapelointiin. Kytkentäkaapeleita voidaan jakamoissa käyttää myös optisiin ristikytkentöihin. Niissä on liittimet molemmissa päissä, jotka valitaan tarpeen mukaan. Ristikytkennöissä on monesti samanlainen liitin molemmissa päissä paneelien ja liitinkenttien välillä, mutta laiteliitäntöjä varten saatetaan tarvita erilaiset liittimet. (Koivisto 2017, 51.)

Kaapeleiden päättämistä varten on tarjolla myös valmiskaapeleita, jotka ovat jo tehtaalla varustettu liittimillä. Kaapeleiden pituudet, kuitumäärät sekä liittimien pituudet ovat valittavissa. Liitinpää kytketään päätepaneeliin, päätekoteloon tai jakamon liitinkenttään ja vapaana oleva pää jatketaan sisäjatkoskaapissa- tai kotelossa varsinaiseen päätettävänä olevaan kaapeliin. Kaapeli voi olla myös molemmista päistä liittimin päätettynä. Valmiskaapelin rakenne voi olla ontelo-, urarunko- tai kerrattu rakenne, ja se voi olla tarpeen mukaan joko sisäkaapeli tai sisäulkokaapeli. Varsinkin ulkokaapeleita päättäessä voidaan nähtä valmiskaapeleiden käytössä etuja. Näitä on esimerkiksi työn säästö, sillä ulkokaapeleita päätettäessä voidaan välttää jäykempien ulkokaapeleiden asennuksilta ahtaisiin sisätiloihin. Lisäksi jakamoiden välisessä sisäkaapeloinnissa on kuitujen jatkoskohtia vähintään yksi vähemmän ja datakeskuksissa saadaan tehtyä asennukset nopeasti häiriöitä aiheuttamatta. (Nestor Cables 2015, 56; Koivisto 2017, 49-50.)

#### 6.4 Jatkokset

Jatkos tarvitaan jokaiseen verkon haaraan, missä kaapeli vaihtuu toiseksi. Ulkokaapelijatkoksina voidaan käyttää kaappimallisia rakenteita tai jatkoksia varten suunniteltuja kotelaita. Ulkokaapelin kotelomallisen rakenteen tulisi suojata kuituja ympäristöltä ja sen vaikutuksilta, sekä antaa kuitujatkoksille ja kuitujen taivutussäteille riittävä tila. Jatkoskotelot sopivat luontevimmin suoriin kaapelijatkoksiin, joilla reitin pituutta kasvatetaan tai vaihdetaan ulkokaapelista sisäkaapeliin. Jatkoskoteloissa on etuna vapaa sijoitusmahdollisuus. Se voidaan sijoittaa kaivoon, kaappiin, pylvääseen tai suoraan maahan. Kaapelin läpivientiaukkojen määrä on kuitenkin rajoittavana tekijänä. (Laaksonen 2014; Koivisto 2017, 60.)

Ulkokaapelijatkos voidaan toteuttaa myös jatkoskaapilla. Tässä tapauksessa pienempi jatkoskaappi sijoitetaan toisen kaapin sisälle kosteussuojauksen vuoksi. Etuna jatkoskoteloihin verrattuna on mahdollisuus useamman kaapelimäärän sisääntuloille, helppo muunneltavuus sekä laajennettavuus. Lisäksi kaappeihin voidaan lisätä liitinpaneeleita, jolloin kaappijatkoksesta saadaan tietynlainen alueellinen jakamotilaisissa kohteissa, missä jakamoa ei ole mahdollista sijoittaa sisätiloihin. Jatkoskaapit soveltuvat parhaiten sellaisiin paikkoihin, joissa suurempi kaapeli jakautuu useaan pienempään sekä eri suuntiin lähteviin kaapeleihin. Kaapeilla mahdollistetaan suuri jatkoskapasiteetti ja kaapeliläpivientien runsas määrä. Kaapit voidaan kuitenkin sijoittaa ainoastaan maan päälle jakokaappien sisälle, joten se on altis ilkeille tai liikenteen aiheuttamalle haitalle. Kuvassa 18 on esitetty jatkoskaappeja asennettuna jakokaapin sisään. (Laaksonen 2014, Koivisto 2017, 61.)



Kuva 18. Jatkoskaappi asennettuna. (Koivisto 2017, 61.)

Sisätiloihin tarkoitettuja sisäjatkokoteloita käytetään silloin, kun vaihdetaan ulkokaapeli sisäkaapeliksi. Näissä jatkoksissa vaatimukset esimerkiksi tiiviyyden osalta eivät ole yhtä kriittisiä, kuin ulkojatkoksissa. Sisäjatkoksena on mahdollista käyttää myös esimerkiksi päätekotelo, jolloin siinä on paikat liittimille. Se voi olla myös kaappimallinen, jolloin siinä on paljon tilaa kuituliitoksia varten sekä lähteille ja tuleville kaapeleille. (Nestor Cables 2015, 66.)

## 7 OPTISEN LIITYNTÄVERKON SUUNNITTELU

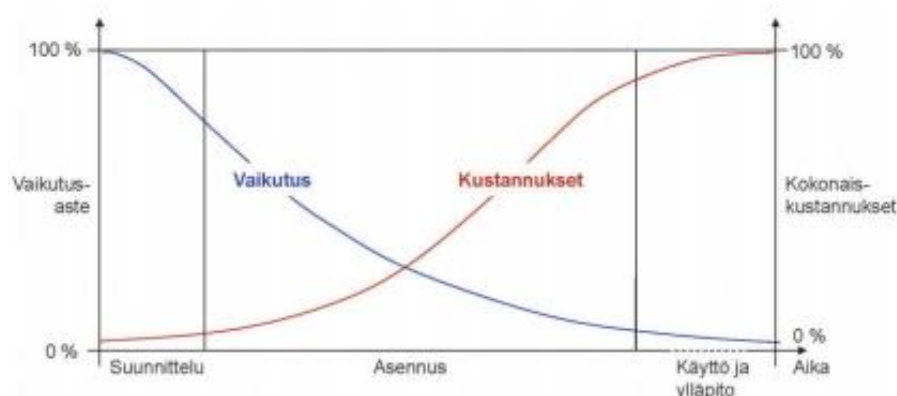
Optinen liityntäverkko tarkoittaa optisilla kaapeleilla sekä rakenneosilla toteutettua verkkoa, joka ulottuu asiakkaan talojakamossa sijaitsevaan valokaapelipäätteeseen liityntäsolmulta asti. Liityntäsolmu sijaitsee teleyrityksen laitetilassa tai tietoliikennetähtäyksessä. Liityntäverkon infrastruktuuri tärkeässä roolissa optisen verkon käyttöä, palvelukyvyn ja tulevan käytettävyyden suhteen. Myös asennuksien vaatimat rakenteet sekä kaapeleiden johtotiet kuuluvat infrastruktuuriin. (Nestor Cables 2015, 96.)

Kaapelireitillä on mahdollisesti suoria kaapelijatkoksia sekä haarajatkoksia. Suoria kaapelijatkoksia tarvitaan kaapelin rajallisista valmistuspituuksista johtuen, eikä pitkiä kaapelireittejä ole mahdollista asentaa yhtenäisellä kaapelilla asennusteknisistä syistä johtuen. Nämä jatkokset toteutetaan jatkokoteloilla, ja ne voidaan sijoittaa jatkoskaivoon, kaapelikaivoon tai suoraan maahan. Haarajatkoksien avulla voidaan suuremman kaapelin kuidut useampaan pienempään kaapeliin. Haarajatkokset voidaan suorien jatkosten tapaan toteuttaa jatkokoteloilla, mutta helpomman ylläpidon sekä laajennettavuuden myötä jatkoskaappi on sopivampi ratkaisu. (Nestor Cables 2015, 97.)

### 7.1 Suunnittelun merkitys ja lähtökohdat

Suunnittelu on verkon toteutuksen osalta elinkaaren vaihe, jossa voidaan vaikuttaa huomattavasti lopputulokseen. Suunnitteluvaiheen kustannukset ovat erittäin pienet, mutta sillä on keskeinen merkitys elinkaaren aikana toteutuviin kustannuksiin. Suurin

osa kustannuksista muodostuu käyttö- ja ylläpitovaiheen kustannuksista. Kuvassa 19 on havainnollistettu verkon elinkaaren kustannukset. (Koivisto 2017, 62.)



Kuva 19. Suunnitteluvaiheessa on mahdollista vaikuttaa eniten tuleviin kustannuksiin (Koivisto 2017, 62.)

Tietoliikenne ja sitä koskevat tarpeet ovat aina suunnittelun lähtökohtana. Tarpeet voivat riippua käyttäjästä, rakennuksen käyttötarkoituksesta, koosta sekä tapauskohtaisesti monista eri seikoista. Kyseessä voi olla jo olemassa olevan rakennuksen kaapeloinnin uudistaminen tai kokonaan uuden kaapeloinnin tarve uuteen rakennukseen. Kaikissa tapauksissa on kuitenkin aina kartoitettava tarvittavat lähtötiedot, joita ovat kaapeloinnin karkea kustannusarvio, kaapeloinnin tukemat sovellukset ja sen peruskokoonpano sekä tietoliikennesiirtojen sijoitus ja määrä kiinteistössä. (Koivisto 2017, 62-63.)

Optista verkkoa suunnitellessa ja rakennuttaessa kannattaa huomioida tietojärjestelmien käytettävyys sekä dokumentointityön laatu, jotka määräävät tulevaisuudessa perustan verkoston muutostöille ja viankorjaustoiminnalle. Näin voidaan vaikuttaa tarjottavien palveluiden katkeamattomuuteen, ja sitä kautta myös tuottojen katkeamattomuuteen. Huolellisella suunnittelulla saadaan suorituskykyinen ja luotettava kaapelointi, joka tukee tietoliikenteen sovelluksia pitkälle tulevaisuuteen. (Viestintävirasto 2009.)

Tietoliikennejärjestelmät mahdollistavat nykyään usean palvelun tuomisen liityntäsolmulta talojakamoon vain yhden kuidun avulla. Valokuitukaapeliin kannattaa silti varata useampia kuituja, sillä se ei kasvata kustannuksia oleellisesti ja samalla

pystytään varautumaan tulevaisuudessa mahdollisiin verkon laajennuksiin. Jos laajennustarpeet eivät ole vielä suunnitteluvaiheessa tiedossa, suositellaan käytettäväksi sellaisia rakenteita, joissa kuitujen haaroittaminen voidaan tehdä jälkikäteen vaarantamatta jo valmiiksi liikenteessä olevia kuituja. Omakotitaloalueilla on suositeltavaa jatkaa ja päättää ainakin kaksi kuitua omakotitaloon asti P2P-kuitutopologialla, kun aluetta liitetään optiseen liityntäverkkoon. Kerrostalot ja rivitalot kannattaa liittää ainakin 24-kuituisella kaapelilla optiseen liityntäverkkoon, joka päätetään talojakamoon. Liityntäsolmusta talojakamoon jatkettujen kuitujen lukumäärä vaihtelee operaattorista riippuen, mutta tyypillisesti se on joko 2 tai 4 kuitua. (Nestor Cables 2015, 101.)

Optisen liityntäverkon palvelut edellyttävät usein aktiivilaitteiden sijoitusta rivi- tai kerrostalojen talojakamoon. FTTB-kohteissa näitä voi olla esimerkiksi DSLAM sellaisissa kiinteistöissä, missä hyödynnetään puhelinsisäjohtoverkkoa, sekä Ethernet-kytkin sellaisissa kiinteistöissä, missä hyödynnetään kategorioiden CAT5 tai CAT6 nousukaapelointia. Aktiivilaitteena voi olla myös kaapeli-tv solmu kiinteistöissä, missä käytetään koaksiaalista nousukaapelointia. (Nestor Cables 2015, 101-102.)

## 7.2 Kaapelireitin suunnittelu

Reittisuunnitelma kannattaa ensin tehdä suuntaa-antavaksi, jossa rakentaminen hahmotellaan karttapohjalle. Sen perusteella käydään kohteessa tekemässä maastosuunnitelu, jonka avulla alustavaa suunnitelmaa voidaan ilmenneiden havaintojen perusteella tarkentaa. Maasto voi olla esimerkiksi kivikkoista tai kallioista, jolloin reitti kannattaa taloudellisista syistä miettiä uudelleen. Maaperän huomioiminen on kustannusarvion osalta erittäin tärkeää, sillä maanrakennustöistä muodostuu iso osa verkon rakentamisen kustannuksista. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2014.)

Maastosuunnittelun jälkeen pystytään tekemään tarkempi verkkosuunnitelma. Suunnitelmaan lisätään myös tarvittavat laittilojen sijainnit, jakamot, kaivot, tien alitukset sekä tarvittavat kuitumäärät omaavat kaapelit. Huolellisen ja tarkan verkkosuunnitelman avulla saadaan aikaiseksi luotettavampi kustannusarvio, joka

toimii pohjana myös liittymähinnoittelulle. Kustannusarvion perusteella voidaan arvioida ja päättää liittymismaksu verkon käyttäjälle sekä valokuitukaapelin ylläpidosta veloitettavan kuukausimaksun suuruus. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2014.)

Optisen liittytäväverkon kaapeleiden ja rakenteiden sijoittamista varten tulee hakea tarvittavat sijoitusluvat heti, kun suunnitelmat valmistuvat ja rakennusaikataulut ovat riittävästi selvillä, sillä lupaprosessit saattavat kestää jopa kuukausia. Sijoituslupia myöntää kaapelien ja rakenteiden sijoittamisen paikasta riippuen eri toimijat. Näitä on esimerkiksi Elinkeino, liikenne- ja ympäristökeskus ELY, joka myöntää kaapelin sijoittamiselle luvan hallinnoimiensa tieosuuksien osalta. ELY-keskuksen lupaprosessin kesto on arviolta 1-2 kuukautta. Taajama-alueella sijoituslupan myöntää kyseinen kunta tai kaupunki. Jos kaapelireitti joudutaan rakentamaan yksityisen alueen kautta, joudutaan myös kyseiseltä maanomistajalta hakemaan sijoituslupa. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2014; Nestor Cables 2015, 110.)

### 7.3 Suunnitelman viimeisteleminen

Suunnitelman viimeistelyn myötä syntyy dokumentaatio, minkä perusteella valokuituverkko voidaan rakentaa liittytäväverkosta kohti asiakkaan kiinteistöä. Keskeisimmät suunnitteludokumentit toteutusta varten työselostus sekä tarkka kaapelireitti, missä esitetään reitin kokonaispituus, kaapeleiden kuitumäärät sekä laittilojen ja jakamojen sijainnit. Nämä toimivat yhdessä maanrakentajalle sekä teletöiden tekijälle rakennusohjeena. (Laaksonen 2014; Nestor Cables 2015, 113.)

Työselostuksessa kuvataan lisäksi työtavat ja työhön liittyvät asennusmenetelmät. Siitä pitäisi löytyä käytettävien materiaalien ominaisuudet, ohjeet kaapelin putkeen asennusta varten, kaapelin sisäänvienti asiakkaan kiinteistöön, mahdollisten jatkosten asennukset sekä asennuksen jälkeiset pinnoite- ja päällystetyöt. Asiakkaan kiinteistön osalta pitäisi olla myös päättämiskaatimukset sekä maadoitusvaatimukset selostettuna. (Nestor Cables 2015, 112-113.)

Asiakasta tulisi suunnitelman valmistuessa tiedottaa siitä, miten valokuitukaapeli tuodaan kiinteistöön ja mitkä ovat toteuttamisen aikataulut. Lisäksi asiakasta tulisi informoida asioista, mitkä jäävät asiakkaan omalle vastuulle. Näitä ovat talojakamotilan vaatimukset sekä kiinteistön oma sisäverkkokaapelointi. Jos tilaaja haluaa hoitaa kaapeliasennuksen itse tontin kulmalta kiinteistöön, on kaapelin käsittelylle ja asentamiselle annettava tarkat ohjeet, kuten valokaapelin tyyppi ja rakenne, asennussyvyys sekä talon sisäänviennissä tarvittavat suojaukset. (Nestor Cables 2015, 113-114; Viestintävirasto 2018.)

## 8 OPTISTEN KAAPELEIDEN ASENNUSMENETELMÄT

Optista valokuitukaapelia asennettaessa on tärkeää noudattaa aina kyseisen kaapelin valmistajan antamia ohjeita ja raja-arvoja. Kaapelia vedettäessä, jatkaessa ja päättäessä on huolehdittava, että kuituun ei kohdistu sellaista räsytystä, mikä voisi mahdollisesti vaurioittaa tai heikentää sen optisia ominaisuuksia. Kaapeliasennuksen tärkeimmät raja-arvot ovat alin asennuslämpötila, suurin sallittu vetovoima, pienin taivussäde sekä puristuskestävyys. (Nestor Cables 2015, 121-122.)

Optista kaapelia asennettaessa on myös jätettävä kaapelin päättämistä ja jatkamista varten riittävästi sekä mahdollisia korjaus- ja muutostöitä varten ylimääräistä pituutta eli työvaraa. Tarvittava työvaran pituus on yleensä ainakin 5 metriä, mutta kohteesta riippuen se voi olla jopa 20 metriä. Liiallinen työvara ei haittaa, mutta kuidun jatkamisesta ja päättämisestä voi tulla jopa mahdotonta, jos työvaraa on liian vähän. (Nestor Cables 2015, 123.)

### 8.1 Maa-asennus auraamalla

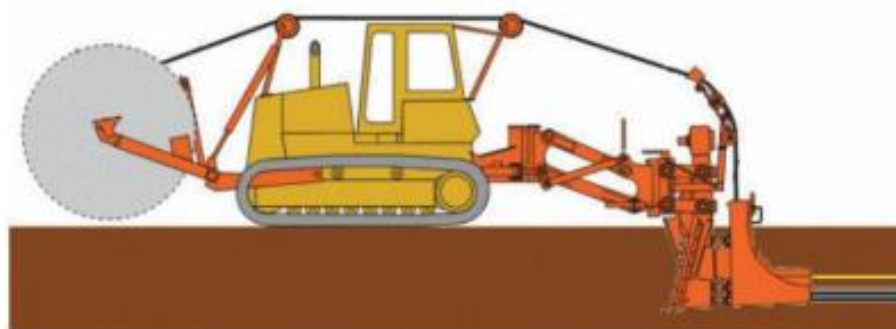
Maa-asennuksessa valokuitukaapeli viedään kaapelille tarkoitettuun ojaan tai se aurataan maahan suoraan. Kaapeliojan on oltava tasainen, joten tarvittaessa ojan pohjaa voidaan tasoittaa hiekkakerroksella. Ojaa täyttäessä on suositeltavaa asentaa maahan valokuitukaapelin päälle varoituskauha kaivinkoneista aiheutuvien kaapelivahinkojen ehkäisemiseksi. Kaapelin ohessa tulisi asentaa kaapelin

paikantamisen mahdollistava nauha- tai johdin, jotta kaapeli voidaan jatkossa paikantaa kaapelinhakulaitteella. Asennussyvyyksien osalta noudatetaan asennuskohteesta riippuen erilaisia vaatimuksia, joita on esimerkiksi kunnilla ja liikennevirastolla. Jos muita vaatimuksia ei ole, noudatetaan standardissa SFS-EN 50174-3 määriteltyjä vaatimuksia, mitkä on esitetty taulukossa 1. (Nestor Cables 2015, 128-129.)

Kaapelin sijainti	Vaatus
Jalkakäytävä	0,5 m
Tie, mukaan lukien pysäköintialueet	0,6 m
Moottoritie	1,0 m*
Rautatie	1,0 m*
Pelto tai viljelysmaa	0,9 m
Viljelemätön tai maisemoitu maa-alue	0,5 m
*Maan omistaja tai käyttäjä voi vaatia suurempia syvyyksiä	

Taulukko 1. SFS-EN 50174-3 mukaiset asennussyvyudet (Nestor Cables 2015, 129.)

Auraus on hyvin edullinen ja nopea tapa asentaa kaapeli maahan, jos maaperän on tasaista ja kaapeliin ei kohdistu liian suurta rasitusta. Aurauksesta aiheutuvat vaikutukset ympäristöön ovat hyvin vähäisiä, koska siitä jää maahan ainoastaan kapea viilto. Maaston ollessa kivikkoisempaa on hyvä käyttää myös esiaurausta, jonka avulla muokataan maaperää varsinaista kaapelauraukseen varten. Kaapeli voidaan aurauksen yhteydessä myös tarvittaessa sijoittaa muoviseen suojaputkeen. Kuvassa 20 on esitetty kaapelaurauksen periaate. Auraamisen ollessa haastavaa tai mahdotonta, voidaan kaapelireitti tehdä kaivamalla. Tällaisia ovat esimerkiksi erittäin kivikkoiset alueet tai piha-alueet, mihin ei suurella koneella pääse. Kaivua tarvitaan myös silloin, kun asennetaan huomattavasti paksumpia valokuitukaapeleita tai paksumpia putkia. (Laaksonen 2014; Kinnula 2015; Nestor Cables 2015, 128.)



Kuva 20. Kaapelaurauksen periaate. (Nestor Cables 2015, 129.)

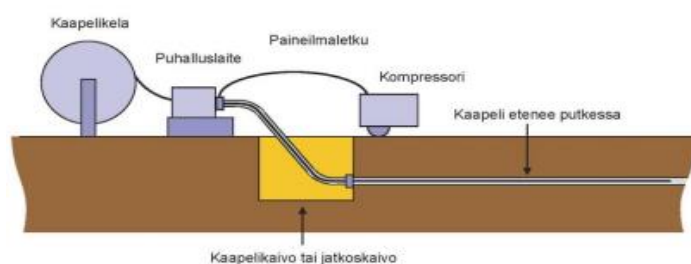


## 8.2 Kanava-asennus vetämällä ja puhaltamalla

Kaapelikanavat ovat yleensä sijoitettuna kaupungeissa ja taajama-alueilla viheralueen tai jalkakäytävän alle, ja muodostovat siellä suuria järjestelmiä. Putkistot haarautuvat kaapelikaivojen kohdalla ja kaivot helpottavat samalla valokuitukaapeleiden jatkamista sekä ylläpitoa. Kanavaan asennettu kaapeli on hyvin suojattu, joten se ei altistu käytön aikana mekaanisille rasituksille. Tästä syystä kanava-asennukseen tarkoitettut kaapelit ovat usein maa-asennukseen tarkoitettuja kaapeleita kevyempiä. Harvemmin asutuille alueille on vaihtoehtona myös asennus maavaraисputkeen, sillä tällaisissa paikoissa ei kanavaputkitukselle ole välttämättä tarvetta. Maavaraисputket asennetaan yleensä maa-asennuksen tavoin auraamalla. (Nestor Cables 2015, 124.)

Kaapelia vetäessä kannattaa käyttää vetopäätä, mihin vetovaijeri saadaan kiinnitettyä. Vetopäät on mahdollista asentaa valokuitukaapeleihin jo tehtaalla. Välietopaiikkojen avulla on mahdollista lisätä vetopituutta. Koko kaapelin vedon ajan tulisi suurin sallittu vetovoima ja muut asennusraja-arvot, joita ei saisi ylittää. Raskaampi kaapeli vaatii kanavaan vedettäessä huomattavasti isomman voiman kevyempään kaapeliin verrattuna, sillä tarvittava vetovoima on kaapelin painoon suoraan verrannollinen. Perinteinen kaapelin veto sopii lyhyille ja suorille kanavareitille, esimerkiksi 100 – 300 metrin pituiselle matkalle. (Helkama 2001, Nestor Cables 2015, 125, Sterlite Tech 2015.)

Valokaapeli on asennettavissa kanava- ja maavaraисputkeen myös puhallustekniikalla eli paineilman avulla. Kompressorista tuleva paineilma ohjataan putkeen, jonka jälkeen kovalla vauhdilla kaapelin ympärillä kulkeva paineilma tarttuu kaapeliin ja kuljettaa sitä mukanaan putkessa. Kaapeliputken tulisi olla myös ilmatiivis puhallustekniikkaa varten. Kuvassa 21 on esitetty puhallustekniikan periaate. (Nestor Cables 2015, 126; Sterlite Tech 2015.)



Kuva 21. Puhallustekniikan periaate (Nestor Cables 2015, 126.)

Puhallustekniikalla on perinteiseen kaapelin vetoon verrattuna monia etuja. Puhallusta varten ei tarvita erillisiä vetoköysiä tai vetolaitteita ja kaapeliin kohdistuvaa vetovoimaa pystytään tarkkailemaan, joten riski kaapelin vioittumiselle puhalluksen aikana on huomattavasti pienempi perinteiseen kaapelin vetoon verrattuna. Puhallustekniikkaa suositellaan käytettäväksi, jos kaapelikanavan reitillä on useampia mutkia tai jos valokuitukaapelia asennetaan pidempiä matkoja, esimerkiksi yli 2 kilometriä. Sijoittamalla useampia puhalluslaitteita kanavareitille tasaisin välein voidaan saavuttaa jopa 12 kilometrin asennuspituuksia. Kaapelin asennus on mahdollista suorittaa puhalluksella myös talvella roudan aikaan, jos putket ovat olemassa. (Nestor Cables 2015, 126-127; Sterlite Tech 2015.)

### 8.3 Mikrokanavatekniikka ja matala-asennustekniikat

Mikrokanavatekniikan käyttäminen on yleistynyt Suomessa jatkuvasti. Siinä käytetään varsinaisen putken sisällä olevia pienempiä putkia, mihin kevyet ja kooltaan pienet mikrokanavakaapelit puhalletaan ja joiden sisällä ne pysyvät suojassa. Mikrokanavatekniikka soveltuu erityisesti sellaisille alueille, missä on optista verkkoa suunniteltaessa haastavaa arvioida tulevien asiakkaiden määrää, tai joihin saattaa rakentamisen jälkeen liittyä muita vieressä olevia asuinalueita. Mikrokanavakaapelissa voi olla valokuituja 4-144 kappaletta. (Nestor Cables 2015, 127.)

Omakotitaloalueilla kaapelointi saattaa olla haastavaa, sillä kadut ovat usein hyvin kapeita ja kiinteistöt sijaitsevat katujen molemmilla puolilla, jolloin myös kaapelointia on rakennettava katujen molemmille puolille. Suurilla koneilla on vaikea toimia tämän tyyppisillä alueilla, joten kaapelointiin on kehitetty uusia matala-asennustekniikoita kuten mikro-ojitus, ketjusahaus ja jysintä. Matala-asennustekniikoissa valokuitukaapelit sijoitetaan noin 30 – 40 senttimetrin syvyiseen uraan. (Nestor Cables 2015, 132.)

Mikro-ojitus, eli micro-trenching, tarkoittaa valokuitukaapelin asentamista 40 senttimetriä syvään timanttisahattuun uraan. Mikro-ojittamisella voidaan kaivamiseen verrattuna asentaa päivää kohden huomattavasti enemmän valokuitua ja asukkaille

aiheutuva haitta jää vähäiseksi, sillä rakentamisaikataulu on nopeampi ja työmaa tarvitsee vähemmän tilaa. Vähäisten materiaalsiirtojen sekä kapean jälkipaikkauksen myötä myös hiilijalanjälki on matala. Mikro-ohitus ei ole Suomeen vielä juurtunut kunnolla, mutta Ruotsissa se on jo yleisesti käytetty. (Telia 2017.)

## 9 LIITYNTÄVERKOSTA KIINTEISTÖÖN

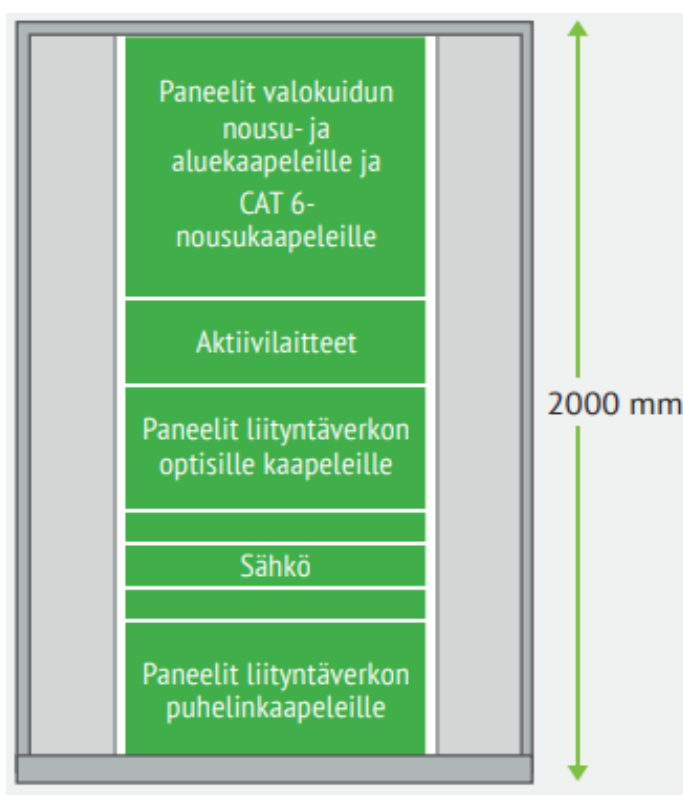
Valokuitukaapeleita tuotaessa ulkoa sisätiloihin tarvitaan järjestelyitä, joita ovat ulkokaapeleiden tuominen kiinteistön seinän läpi sekä jakamoon tai päättämiskohtaan tehtävät johtotiet. Ulkokaapeli tulee jatkaa kiinteistön sisällä paloturvalliseksi sisäkaapeliksi, jos sisävedon pituus ylittää 5 metriä. Usein ulkokaapeli jatketaan välittömästi sisäkaapeliin sisääntuonnin jälkeen ja häntäkaapelin liitinpää päätetään jakamotelineen liitinkenttään. (Nestor Cables 2015, 132; Viestintävirasto 2018.)

Mikäli valokuitukaapelia ei voida viedä kiinteistön sisätiloihin kerralla, jätetään kaapeli tontin rajalle kiepillle tai kiinteistön seinustalle riippuen siitä, mitä asiakkaan kanssa on sovittu. Jos kaapeli päätetään jättää tontin rajalle, on sitä niputettava tulevaa sisäänvientiä varten riittävä määrä. (Nestor Cables 2015, 142.)

### 9.1 Kiinteistön talojakamo

Optisen liityntäverkon ja asiakkaan kiinteistön sisäverkon välinen rajapinta sijaitsee talojakamossa. Talojakamo on suunniteltava jokaiseen kiinteistöön ja jokainen asuinhuoneisto on varusteltava kotijakamolla. Omakotitaloissa kotijakamo toimii samalla myös talojakamona. Talojakamo tulisi suunnitella siten, että liityntäkaapeleille ja kiinteistön runkokaapeleille saadaan turvalliset kaapelireitit sekä tilaa kiinteistöön kytkettävien valokuituliittymien vaatimille kaapeleille ja laitteille. Lisäksi tulevaisuuden tarpeita varten pitäisi jättää tilaa sekä tilan ilmanvaihto, lämpötila-alue ja valaistus ovat sijoitettaville rakenneosille ja laitteille sopivia. (Koivisto 2017, 70; Orbis 2017.)

Kiinteistön talojakamo toimii myös optisen liittytäkverkon päättämiskohtana. Jakamon koosta ja tyypistä riippuen valokuitukaapeli päätetään talojakamotelineelle päätepaneeliin tai päätekoteloon. Tarkoituksena päättämässä on synnyttää liitinrajapinta, eli kuidut päätetään aina liittimin. Kuitujen päättäminen liittimeen voidaan toteuttaa häntäkuitujen tai valmiskaapeleiden avulla. Lisäksi talojakamoon sijoitetaan tyypillisesti esimerkiksi Ethernet-kytkimiä, reitittimiä ja xDSL-keskittimiä. Kuvassa 22 on esitetty esimerkki mahdollisesta asuinkiinteistön talojakamon kalustamisesta. (Nestor Cables 2015, 151; Koivisto 2017, 71.)



Kuva 22. Esimerkki talojakamon kalustamisesta asuinkiinteistössä. (Orbis 2017.)

Talajakamon sijainti valitaan kaapeloinnin kannalta keskeiseltä paikalta kiinteistössä. Sijoittamisessa on otettava huomioon etäisyys talojakamosta kauimpaan kotijakamoon, mihin asennetaan nousukaapelointi ilman alijakamoja, sillä etäisyys saa olla parikaapeloinnille enintään 90 metriä. Usein talojakamon sijaintina on kiinteistön pohjakerros. Turvallisuuden kannalta myös lukittavuus on tärkeää, jotta saadaan estettyä kolmannen osapuolen vapaa pääsy talojakamotilaan. Taulukossa 2 on määritelty asuinkiinteistöjen talojakamoiden minimikoot suhteessa huoneistojen lukumäärään. (Koivisto 2017, 71.)

Huoneistojen lukumäärä	Kaappien tai telineiden lukumäärä	Talopakamotilan mitat, minimiarvo, m <sup>2</sup>
10	1	2,2 × 2,0 m
20	1	2,2 × 2,0 m
50	1	2,2 × 2,0 m
100	1...2	2,2...3,0 × 2,0 m
200	2	3,0 × 2,0 m
500	3	3,8 × 2,0 m
1000	4	4,6 × 2,0 m

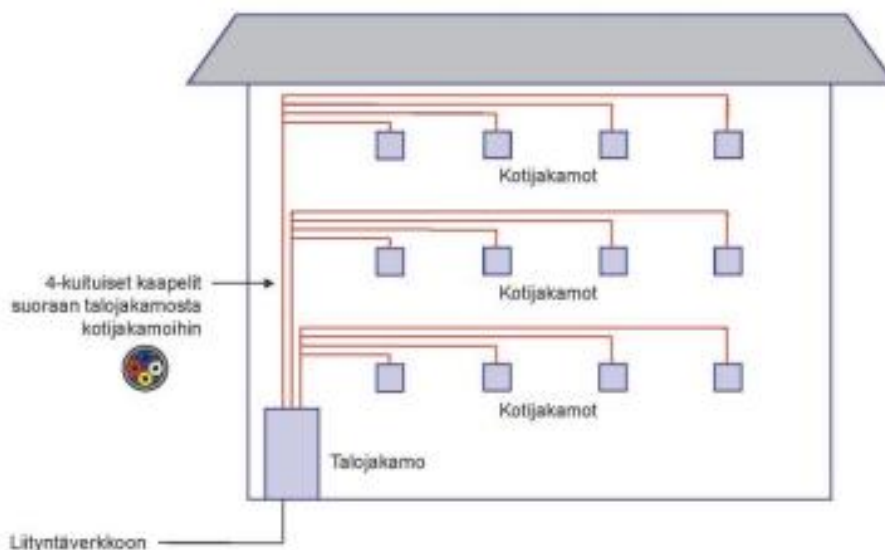
Taulukko 2. Talopakamotilan minimikoko kiinteistössä. (Koivisto 2017, 72.)

Alijakamon tarkoituksena on enintään 90 metrin nousukaapeloinnin mahdollistaminen kiinteistössä, joten sen käyttökohde on yleensä kerrostaloissa. Rivitaloissa nousukaapeloinnit voidaan toteuttaa kotijakamoihin suoraan talopakamosta. Vaatimukset alijakamolle ovat samat kuin talopakamolle. Talopakamon ja alijakamon välistä kaapelointia kutsutaan aluekaapeloinniksi. Alijakamossa liitinrajapintaa ei toteuteta, vaan kuidut ainoastaan hitsataan. (Koivisto 2017, 72; Prysmian Group 2017.)

## 9.2 Kotijakamo

Kotijakamo suunnitellaan ja asennetaan jokaiseen asuinhuoneistoon, mihin nousukaapelointi ja kotikaapelointi päätetään. Siihen sijoitetaan viestintäpalveluiden vaatimat aktiiviset sekä passiiviset laitteet. Kotijakamon sijainti on usein kodin ryhmäkeskuksen lähellä, ja sen tulisi olla helposti avattavissa. Lisäksi kotijakamokaapissa on oltava tilavaraus aktiivilaitteille, kun optisen verkon päätelaitteelle tai kytkimelle, sekä kytkentäkaapeleille ja piirustuksille. Omakotitaloissa kotijakamo toimii samalla myös talopakamona. (Koivisto 2017, 73.)

Talopakamon ja kotijakamon välistä kaapelointia kutsutaan optiseksi nousukaapeloinniksi. Jokaiseen huoneistoon viedään neljä kappaletta yksimuotokuituja kuituliittimillä päätettyinä kotijakamon ja talopakamon päissä. Uudiskohteiden kotikaapelointi toteutetaan viemällä kotijakamosta jokaiseen asuinhuoneeseen kaksi kappaletta kategoria 6 parikaapelia sekä yksi koaksiaalikaapeli kaksiosaiseen tietoliikennerasiaan ja antennirasiaan päätettyinä. Kuvassa 23 on esitetty suora optinen kaapelointi koteihin. (Prysmian Group 2017.)



Kuva 23. Suora kaapelointi kotijakamoihin. (Koivisto 2017, 77.)

### 9.3 Optisten yhteyksien mittaukset

Valokuituyhteyksien mittaukset ovat optisen liityntäverkon toteuttamisen kannalta erittäin olennaisia asioita. Jokainen optinen siirtotie tulee kaapelin asentamisen, jatkamisen ja päättämisen jälkeen testata mittauksin, jotta voidaan varmistua asetettujen siirtoteknisten vaatimusten toteutuneen. Mittauksia tarvitaan lisäksi optisen verkon ylläpitotehtävissä, kuten vianetsinnässä sekä laajennusten tai muutosten yhteydessä. Taulukossa 3 on esitetty eri komponenteille suurimmat sallitut arvot vaimennuksille. (Viestintävirasto 2009; Nestor Cables 2015, 162.)

Komponentti	Suurin sallittu arvo
<b>Valokaapeleissa olevien optisten kuitujen vaimennus</b>	
Yksimuotokuitu OS2	
1310 nm, 1383 nm ja 1550 nm	0,4 dB/km
Monimuotokuidut OM3 ja OM4	
850 nm	3,5 dB/km
1300 nm	1,5 dB/km
<b>LC- ja SC-liittimien liitosvaimennus</b>	
Yksimuotokuitu OS2	0,3 dB
Monimuotokuidut OM3 ja OM4	0,6 dB
<b>Hitsatun kuitujatkoksen jatkosvaimennus</b>	
Yksi- ja monimuotokuidut	0,1 dB

Taulukko 3. Suurimmat sallitut arvot vaimennuksille (Koivisto 2017, 147.)

Hylätyksi tulkittu siirtotie on aina korjattava ja testattava korjauksen jälkeen uudestaan. Liian suuri vaimennus voi johtua esimerkiksi liittimen likaisuudesta tai virheellisistä kytkennöistä. Kuitu saattaa olla myös myös matkan varrella jossain kohdassa puristuksissa tai liian pienellä taivutussäteellä. Tällöin tehdyt asennukset korjataan. Kaapelin kuidun ollessa poikki joudutaan asentamaan kokonaan uusi kaapeli. Vastaavasti liittimen tai adapterin ollessa vaurioitunut vaihdetaan uusi häntäkuitu tai adapteri. (Koivisto 2017, 148.)

### 9.3.1 Vaimennuksen mittaaminen valokaapelitutkalla

Tutkamittaus on optisen liiityntäverkon kaapeliosuuksien sekä verkon ylläpidon yleisin mittaaminen. Se perustuu valon heijastumiseen taitekertoimen muutoskohdasta sekä kuidun takaisinsirontaan. Valokaapelitutkasta käytetään lyhennettä OTDR, joka muodostuu sanoista Optical Time Domain Reflectometer. Kuvassa 24 on kuvattuna valokaapelitutkan toimintaperiaate. Tutkauksessa lähettimestä lähtee valopulssi kohti kuitua suuntakytkimen kautta, mikä vaimenee edetessään vaimennuksen mukaisesti. Matkalla varrella osa valosta siroaa ja sen myötä heijastuu takaisin kohti kuidun alkupäätä. Nämä takaisinsironneet ja heijastuneet signaalit kytketään ilmaisimeen ja syötetään näyttölaitteelle. Valokaapelitutkan kuvaruudulta nähdään mitatun kuidun alkupäähän palautuneen optisen tehon taso ajan funktiona. (Viestintävirasto 2009; Nestor Cables 2015, 162, Koivisto 2017, 150.)



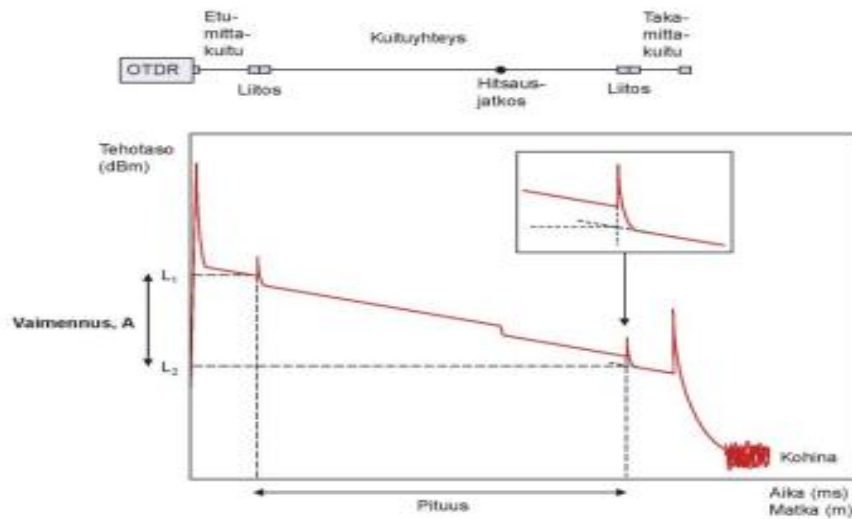
Kuva 24. Valokaapelitutkan toimintaperiaate (Nestor Cables 2015, 162.)

Jokainen kuitu mitataan erikseen, kun valokaapelireittiä mitataan. Mittaustuloksiin saadaan vielä enemmän luotettavuutta, kun kuidut mitataan erikseen molemmista päistä. Teleoperaattorit asettavat yleensä omien optisten verkkojensa mittauksiin käytettäville kaapelitutkilleen erilaisia vaatimuksia, mitkä pitää ottaa huomioon ennen mittaamista. (Viestintävirasto 2009; Nestor Cables 2015, 164.)

Tutkamittauksia tehdessä käytetään etu- ja takamittakuitua. Etumittakuidun käytöllä eliminoidaan kuolleen alueen vaikutukset varsinaisen kuituyhteyden mittaamisen osalta, mikä johtuu tutkan etupaneelin liittimen heijastuksesta. Jos etumittakuitua ei käytetä, peittäisi kyseinen heijastus alleen yhteyden ensimmäisen liitoksen sekä tietyn matkan yhteyden alkupäästä, jolloin näistä ei olisi mittaustietoa saatavilla. Vastaavasti takamittakuidun käytöllä saadaan selville ominaisuudet viimeisestä liitoksesta. Takamittakuidun avulla saadaan myös tarkistettua reitin mahdolliset kuituristeymät kaapelireitiltä. Takamittakuidun lenkittäminen mahdollistaa lisäksi myös yhteyden mittaamisen yhdestä sijaintipaikasta kahteen suuntaan. (Viestintävirasto 2009; Nestor Cables 2015, 164.)

Kuidun vaimennusta koskevat vaatimukset ovat määritelty yleensä määriteltynä aallonpituudelle 1550 nm. Vaimennuksen mittaaminen valokaapelitutkalla perustuu siihen, että kuidun jokaisesta kohdasta siroaa etenevästä valotehosta yhtä suuri osuus takaisin. Näin ollen kuvaruudulla nähtävissä oleva tehotason aleneminen ajan ja matkan kasvaessa johtuu kuidun vaimenemisesta. Kaapelitutkan näytöltä voidaan lukea esimerkiksi yhteyden pituus ja etäisyydet jokaisen tapahtuman osalta. Vaaka-asteikolla mitataan todellisuudessa aikaa, joka on valon edestakaiseen matkaan kuidussa kulunut. Kuvassa 25 on esimerkki tutkamittauksesta kentällä. (Nestor Cables 2015, 165-166.)





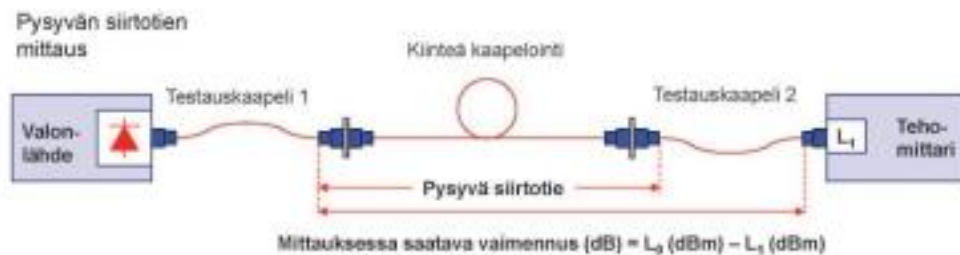
Kuva 25. Esimerkki tutkimittauksesta kentällä (Nestor Cables 2015, 166.)

### 9.3.2 Vaimennuksen mittaaminen tehomittaparilla

Tehomittapari muodostuu valonlähteestä ja optisesta tehomittarista, jossa valonlähteellä lähetetään halutulla aallonpituudella valotehoa. Yleisimmät aallonpituudet yksimuotokuiduille on 1310 nm ja 1550 nm, sekä monimuotokuidulle 850 nm ja 1300 nm. Yksimuotokuitujen valonlähteinä toimivat laserdiodeit ja monimuotokuitujen valonlähteinä toimivat LED-lähtimet. Tehomittaparia voidaan käyttää valokuitukaapelin ollessa niin lyhyt, ettei valokaapelitutkausta voida toteuttaa. Valonlähteen ja tehomittarin liittäminen testattavaan kuitukaapelointiin toteutetaan testauskaapeleiden avulla, mitkä ovat yleensä yksi- tai kaksikuituisia kaapeleita. Testauskaapeleiden liittimillä on mittaustarkkuuksia ajatellen erittäin suuri merkitys. Riittävä mittaustarkkuus voidaan saavuttaa, jos testauskaapeleiden liittimet täyttävät vähintään testattavan kuitukaapeloinnin liittimiin asetetut vaatimukset. (Viestintävirasto 2009; Koivisto 2017, 140.)

Tehomittaparilla vaimennuksen mittaaminen toteutetaan siten, että ensin valonlähteestä mitataan suoraan tehomittariin saatava optinen teho, mitä kutsutaan vertailutehoksi. Vertailutehon yksikkönä on dBm. Sen jälkeen optinen valonlähde asetetaan kaapeloinnin toiseen päähän ja vastaavasti toiseen päähän liitetään tehomittari, jonka jälkeen saadaan mitattua tehomittariin saatava teho, mitä kutsutaan testaustehoksi. Testaustehon yksikkönä on myös dBm. Vertailutehon ja testaustehon

erotuksesta saadaan optisen kaapeloinnin vaimennus. Vaimennuksen mittaaminen tehomittaparilla on esitetty kuvassa 26. (Koivisto 2017, 144.)



Kuva 26. Vaimennuksen mittaaminen tehomittaparilla. (Koivisto 2017, 145.)

### 9.3.3 Valokuitujen läpisoitto

Yksinkertainen tapa kuituyhteyden jatkuvuuden toteamiseen ja kytkentöjen tarkastamiseen on kuitujen läpisoitto. Läpisoiton avulla varmistetaan, että kiinteistöjen optisten kaapelointien asennuksissa on jatkokset ja liitokset kunnossa, sekä kuidut on päätetty esimerkiksi päättepaneelissa oikeisiin liittimiin. Läpisoitossa voidaan käyttää valolähteenä tavallista kynälamppua tai näkyvän valon laseria, joka soveltuu erinomaisesti myös yksimuotokuiduille. (Nestor Cables 2015, 169.)

Läpisoittoa ei kuitenkaan voida pitää varsinaisena mittauksena, sillä sen avulla ei saada tietoa siirtotien laadusta tai suorituskyvystä. Läpisoitolla ei aina välttämättä löydy heikkoja liitoksia tai jatkoksia, sillä esimerkiksi laseria käytettäessä valoa saattaa näkyä toisesta päästä kuitua, vaikka reitillä olisi kuitu lähes poikki. Varsinaisilla vaimennus- ja tutkimittauksilla saadaan yhteyden kunnosta huomattavasti tarkempaa ja luotettavampaa tietoa. (Nestor Cables 2015, 169.)

## 10 OPTISEN VERKON YLLÄPITO JA VIANKORJAUS

Optisen verkkoyhteyden ja verkon rakentaminen alkaa aina suunnittelusta ja päättyy loppumittauksiin. Tämän jälkeen verkko vaatii kuitenkin myös huoltotöitä ja ylläpitoa, sekä liityntäverkossa asiakasmäärän kasvaessa myös laajennuksia ja muutoksia. Huolellisella dokumentoinnilla on kyseisten toimintojen osalta keskeinen merkitys,

jotta tarvittavat tiedot on helposti saatavilla ja selkeästi tallennettuna. Dokumentointia on myös päivitettävä jatkuvasti, jotta rakennettu optinen verkko pysyy koko elinkaarensa ajan jatkuvasti ajan tasalla. Ylläpito ja vianhaku on tehokasta ainoastaan silloin, kun dokumentaatiota on pidetty ajan tasalla. (Nestor Cables 2015, 173; Koivisto 2017, 156.)

Suunnitellusta ja rakennetusta liityntäverkosta tehdään verkkokartta, mistä selviää kaapelireitti sekä reitin varrella olevat putkitukset, jakamot ja kaapelikaivot. Verkkokarttaan tulee myös rakennukset ja niiden sijainnit. Verkosta dokumentoidaan keskeiset tiedot jatkoskaavioon, joka sisältää runkoverkon osalta kaapelireitin ja kaapelivalmistajat, jatkokset ja niiden numerot, etäisyydet mittalaitteella mitattuna sekä jatkosten sijainnit maastossa GPS-lukemilla. Lisäksi jatkoskaavioon merkitään jatkoskoteloiden ja valokaapelipäätteiden tyypit ja valmistajat sekä päätteissä käytettyjen liittimien tyypit. Kiinteistön osalta dokumentaatioon kuuluu runkokaapeloinnin kaaviot ja piirustukset, tarkastuspöytäkirjat, laite- ja komponenttiluettelot sekä merkinnät kaapeleista, paneeleista, telineistä ja kaapeista. (Nestor Cables 2015, 173-144; Koivisto 2017, 156.)

### 10.1 Liityntäverkon ylläpito

Optisen liityntäverkon ylläpitoon kuuluvat palvelukyvyn ja luotettavan toiminnan varmistamiseen liittyvät tarpeelliset toiminnot ja tehtävät koko optisen verkon elinkaaren ajaksi. Näitä tehtäviä ovat verkossa tarjottavien palveluiden ja yhteenliittämisrajapintojen määrittelyt, ylläpito-organisaation ja siihen kuuluvien vastuuhenkilöiden määrittely sekä dokumentoinnin hallinta. Verkon palveluita ja aktiivilaitteita hallitaan sekä valvotaan, ja niille suoritetaan määräaikaistarkastuksia. Lisäksi muutostöitä varten on pidettävä muutos- ja laajennussuunnitelma ajan tasalla. (Viestintävirasto 2009; Nestor Cables 2015, 174.)

Verkon rakennuttamisesta vastaava taho voi huolehtia itse optisen verkon ylläpidosta, mutta se voidaan myös ulkoistaa kokonaan tai osittain toiselle palveluntarjoajalle. Rakennuttajan on kuitenkin varmistettava verkon ylläpitämisen laatu, vaikka se olisi se olisi ulkoistettu. Suunnittelu- ja rakennusvaiheessa tehdyllä dokumentoinnilla ja

työn laadulla on suuri merkitys jatkossa tulevaisuudessa tehtäville verkoston muutostöille sekä viankorjaustoiminnalle. Tästä syystä verkon rakennuttajan kannattaa huolehtia ylläpitoon ja viankorjausmenettelyihin liittyvästä suunnittelusta jo ennen verkon rakennusvaihetta. (Viestintävirasto 2009; Nestor Cables 2015, 174.)

## 10.2 Kiinteistön omistajan vastuu

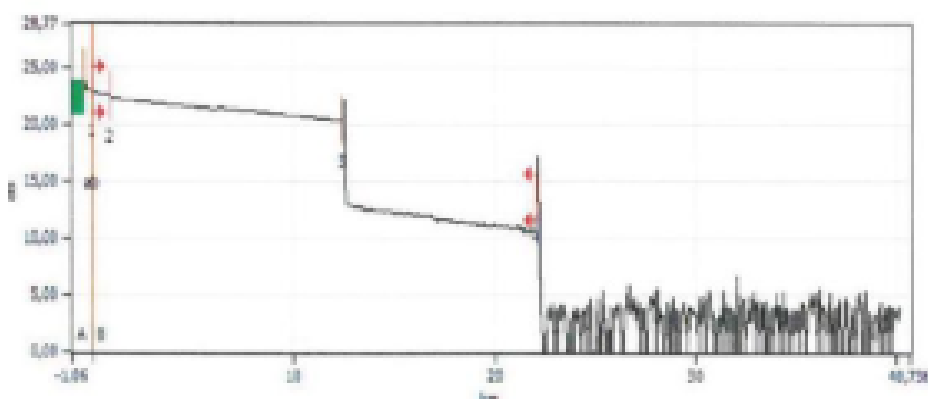
Kiinteistön sisäverkkokaapeloinnit kuuluvat kiinteistön omaisuuteen, joten sisäverkkojen ylläpitäminen ja toimintakunto kuuluvat kiinteistön omistajan vastuulle. Teleyrityksen vastuurajapinta rajoittuu tavallisesti talokaapelin päähän, mihin sisältyy aktiivilaitteet ja niihin tarvittavat kytkennät. Sisäverkkoon kuuluvat tavallisesti yleiskaapelointijärjestelmien ristikytkennät sekä yhteysantennijärjestelmien vahvistimet. Nämä ovat kuitenkin sopimuksenvaraisia asioita, joten osapuolien tulisi sopia vastuualueista selkeästi. (Hovatta ym. 2014, 33.)

Sisäverkon omistaja vastaa samalla myös sisäverkon tietoturvasta. Tietoturvallisuus toteutetaan sen perusteella, millainen rakennus on kyseessä, mitkä ovat mahdollisia uhkia ja millaisia liittymiä asiakkaalle tarjotaan. Sen perusteella tehdään riskiarvio, jonka avulla rakenteelliset murtosuojaus ja lukitukset toteutetaan. Asiattomilta henkilöiltä on estettävä aina pääsy sisäverkkoon kuuluviin laittiloihin ja kytkentäpaikkoihin. Useampaa tilaajaa palvelevien talojakamoiden telelaitteita sisältävät kotelot ja rasiat lukitaan yksilölliseen avaimeen pohjautuvalla lukituksella. (Hovatta ym. 2014, 34.)

## 10.3 Verkon viankorjaus

Optisessa verkossa ilmeneviä vikoja pystytään ennaltaehkäisemään huolellisella ylläpidolla, mutta joskus vikoja ilmenee väistämättä. Niitä voi esiintyä aktiivilaitteissa tai kaapeliverkossa. Viat ilmenevät yleensä järjestelmässä tapahtuvan hälytyksen perusteella, minkä avulla vika paikallistetaan. Sen avulla saadaan verkosta selville jokin jakamo tai pääte, mihin asti yhteys toimii. Kaapeliverkoissa tyypillisiä vikakohtia ovat kaapeliin ilmaantuneet vauriot, jatkokset sekä liitokset. (Nestor Cables 2015, 174-175.)

Valokaapelitutka on vian paikallistamisen kannalta hyödyllinen väline. Sen avulla saadaan selvitettyä vikapaikan etäisyys mittauspisteestä. Olemassa olevan dokumentaation ja tutkan mittaustuloksen perusteella saadaan vian fyysinen sijainti kohdistettua. Jotta paikantaminen olisi mahdollisimman tarkkaa, tehdään tutkamittaukset vikaan nähden mahdollisimman lähellä olevasta pisteestä. Tarkkuus paranee myös silloin, kun tutkamittaukset tehdään vikapaikkaan katsottuna molemmista suunnista. Tutkamittauksilla kannattaa tarkistaa valokaapelin kaikki kuidut kaapelivauriotapauksissa, vaikka vikaa ilmenisi ainoastaan yhdessä kuidussa. Kuvassa 27 on esitetty tutkalla löydetyistä kaapeliviasta esimerkki. (Nestor Cables 2015, 175.)



Kuva 27. Tutkalla löydetty kaapelivika. (Nestor Cables 2015, 175.)

Vika on korjattava sen löytymisen jälkeen mahdollisimman nopeasti varsinkin silloin, jos varayhteyttä ei ole toteutettu ollenkaan. Ennen lopullista korjausta voidaan tehdä myös tilapäinen jatkos, jolla yhteydet saadaan nopeasti toimimaan vilkkaan verkkoliikenteen aikaan. Lopullinen korjaus tehdään verkkoliikenteen ollessa vähäistä. Korjausstrategiaa edellyttäviä valmiuksia tulisi ylläpitää jatkuvasti. (Nestor Cables 2015, 176.)

## 11 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli kertoa fyysisen valokuituverkon rakentamisen vaiheista teleoperaattorin näkökulmasta. Kuituyhteyksien rakentaminen vaatii aina huolellista suunnittelua, jotta verkko palvelisi asiakasta mahdollisimman tehokkaasti ja pitkällä elinkaarella. Tällöin myös teleoperaattorille aiheutuvat ylläpito- ja viankorjauskustannukset pienenevät huomattavasti. Mielestäni on hienoa, että rakentamisen menetelmiä pyritään nykyään kehittämään ympäristöystävällisemmiksi. Kun työ saadaan tehtyä huomattavasti pienemmän tilan tarpeella ja nopeammalla vauhdilla, aiheuttaa se varsinkin tiheästi asutuilla asuinalueilla vähemmän harmia.

Opinnäytetyön kirjoittaminen oli hyvin mielenkiintoista ja opettavaista, vaikka aiheen rajaaminen tuntui alussa hieman haastavalta. Tavoitteeni tuottaa ajankohtaisen tuotos optisen verkon fyysisestä toteuttamisesta onnistui kuitenkin mielestäni hyvin. Pyrin käyttämään tarkasti harkittuja sekä mahdollisimman tuoreita lähteitä. Kansainvälisiä lähteitä olisin voinut käyttää vielä enemmän, jolloin valokuituverkon rakentamisesta olisi saanut mahdollisesti enemmän näkökulmia ja monipuolisuutta, mutta halusin keskittyä Suomessa toimivien teleoperaattorien toimintatapoihin.

Valokuidun loistavan tiedonsiirtokapasiteetin vuoksi uskon vahvasti, että valokuitukaapeleita asennetaan vielä kaukana tulevaisuudessakin. Nähtäväksi kuitenkin jää, miten tulevaisuudessa markkinoille saapuva langaton 5G-tekniikka vaikuttaa kiinteän valokuituverkon rakentamiseen kiinteistöön asti, vaikka kiinteällä verkolla on etunsa langattomaan verkkoon verrattuna. 5G-tekniikkakaan ei kuitenkaan toimi ilman mobiilitukiasemille rakennettua fyysistä valokuitukaapelia. Kehitysehdotuksenani olisikin tuleville samankaltaisille opinnäytetöille, että 5G-tekniikkaan perehdyttäisiin huomattavasti syvemmin ja samalla mietittäisiin sen vaikutuksia kiinteän verkon rakentamiseen kiinteistöön.

## LÄHTEET

- Daftardar, I. 2016. Science ABC. Viitattu 22.2.2018. Saatavissa: <https://www.scienceabc.com/innovation/fibre-optic-copper-faster-better-signal-transmission-bandwidth-speed-cost-fast.html>
- Eklund, T. 2018. Miksi mobiilimaa Suomi tarvitsee valokuituverkkoja. Viitattu 9.3.2018. Saatavissa: <https://www.avoinkuitu.fi/juuri-nyt/toimivat-yhteydet-vaativat-valokuitua>
- Helkama. 2001. Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa. 4. painos. Tampere: Tammer-Paino OY
- Hovatta, T., Koivisto P., Nieminen, K., Paananen, K., Rasimus, T., Reinikainen, V. & Salokorpi, K. 2014. Asuinkiinteistön tietoliikenneverkon uudistaminen. Espoo: Sähköinfo Oy.
- KaseNet. 2018. Valokuituyhteys – miksi. Viitattu 9.3.2018. Saatavissa: <http://www.kasenet.fi/?sivu=valokuitu&va=palvelut>
- Keiser, G. 2003. Optical Communications Essentials. New York: McGraw-Hill Professional.
- Koivisto, P. 2009. Optiset kaapeloinnit kiinteistössä. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Koivisto, P. 2017. Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit: Opas kiinteistöverkon rakentajalle. Oulu: Nestor Cables Oy.
- Kinnula. 2015. Yleistä rakentamisesta. Viitattu 6.9.2018. Saatavissa: <http://www.kinnula.fi/index.php?id=273>
- Laaksonen, P. 2014. Kuiturakentajan käsikirja: Opas valokuiturakentamisen aloittamiseen. Viitattu 26.8.2018. Saatavissa: <http://www.seutuverkot.fi/assets/files/kuiturakentajan-kasikirja.pdf>
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2014. Kuituverkon rakentamismenetelmät. Viitattu 2.9.2018. Saatavissa: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/77925/Julkaisu\\_2-2014.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/77925/Julkaisu_2-2014.pdf)
- Li, A. 2015. Fiber Optic Solutions: Four Common Types of Fiber Optic Connectors. Viitattu 25.8.2018. Saatavissa: <http://www.fiber-optic-solutions.com/four-common-types-of-fiber-optic-connectors.html>
- Nestor Cables. 2015. FTTX – Optiset liityntäverkot. Oulu: Nestor Cables Oy.
- Orbis. 2017. Kuitu kotiin opas. Viitattu 12.9.2018. Saatavissa: [https://www.orbis.fi/sites/default/files/orbis\\_kuitukotiin\\_opas\\_211217.pdf](https://www.orbis.fi/sites/default/files/orbis_kuitukotiin_opas_211217.pdf)

Prysmian Group. 2017. Sisäverkon kaapelointi. Viitattu 13.9.2018. Saatavissa: [https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/atoms/files/Sisaverkon\\_kaapelointi\\_2017.pdf](https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/atoms/files/Sisaverkon_kaapelointi_2017.pdf)

Sterlite Tech. 2015. Installation of Optical Fiber Cable by Blowing/Jetting. Viitattu 6.9. Saatavissa: [https://www.sterlitetech.com/sterlite-live/application\\_notes/58/original/Installation\\_of\\_optical\\_fiber\\_cable\\_by\\_blowing-final.pdf?1507211203](https://www.sterlitetech.com/sterlite-live/application_notes/58/original/Installation_of_optical_fiber_cable_by_blowing-final.pdf?1507211203)

Telia. 2017. Telia testaa valokuidun rakentamista ympäristöystävällisellä mikro-ojitustekniikalla Helsingissä. Viitattu 10.9.2018. Saatavissa: <https://www.telia.fi/medialle/showArticleView?article=telia-testaa-valokuidun-rakentamista-ymparistoystvllisell-mikro-ojitustekniikalla-helsingiss&id=f37b47f4-316a-419d-b019-9fd0e32ac582>

Viestintävirasto 2009. Optiset liityntäverkot v2. Viitattu 15.8.2018. Saatavissa: <https://www.viestintavirasto.fi/attachments/tyoryhmaraportit/TRaportti012006v2.pdf>

Viestintävirasto 2018. Määräys kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista 65 C/2018 M. Viitattu 8.3.2018. Saatavissa: [https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Sisaverkkojen\\_usein\\_kysytyt\\_kysymykset\\_M65C.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Sisaverkkojen_usein_kysytyt_kysymykset_M65C.pdf)

Zhang, K. 2016. Fiber Optic Network Products. Viitattu 26.2.2018. Saatavissa: <http://www.fiberopticsshare.com/single-mode-fiber-vs-multimode-fiber-choose-2.html>